



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE
SANDÍA DE EXPORTACIÓN (*CITRULLUS LANATUS* (THUNB.)) EN LA
FINCA “EL RODEO”, UBICADA EN LA COMUNIDAD DE SAN BENITO,
MUNICIPIO DE TIPITAPA.**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por

Br. Randalph Guillermo Roblero González

Br. Carlos José Mejía Vado

Tutor

Msc. Ing. Horacio González Arias

Managua, Nicaragua

Junio 2016

Managua 09 de Junio de 2016

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano FTC
Su Despacho

Estimado Dr. Gutiérrez:

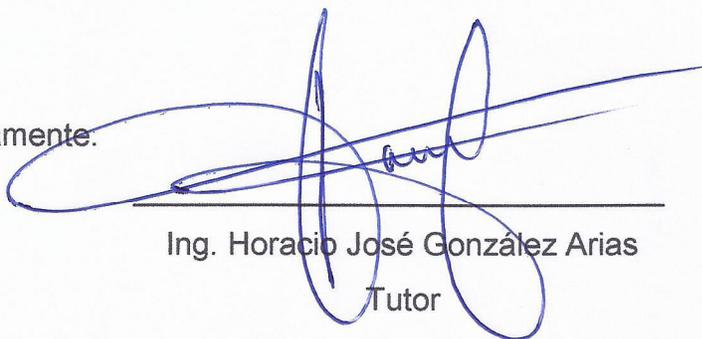
Por medio de la presente me dirijo a usted para comunicarle que en calidad de tutor de los bachilleres **Randolph Guillermo Roblero Gonzalez y Carlos Jose Mejia Vado**, han cumplido con los requisitos y cambios sugeridos por el jurado en predefensa en el trabajo monográfico titulado **Evaluación del sistema de riego por goteo en el cultivo de Sandía de exportación (*Citrullus Lanatus* (Thunb.)) en la finca "El Rodeo", ubicada en la comunidad de San Benito, Municipio de Tipitapa**, como requisito para optar al título de Ingeniero Agrícola.

Me es grato informarle que en la función de tutor, hemos revisado cuidadosamente el documento final y tomado en cuenta las sugerencias y observaciones del jurado de tal manera que cumple satisfactoriamente con los objetivos planteados y reúne los méritos necesarios para su presentación.

Solicitándole de su amabilidad y comprensión, se remiten 03 volúmenes del trabajo, para ser evaluado en Defensa.

Sin más a que referirme me despido deseándole éxito en sus funciones diarias.

Atentamente.



Ing. Horacio José González Arias
Tutor

Cc: Archivo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.145
Managua, agosto 03 del 2011

Bachilleres
RANDALPH GUILLERMO ROBLERO GONZÁLEZ
CARLOS JOSÉ MEJÍA VADO
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema Monográfico titulado "EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE SANDIA DE EXPORTACIÓN (CITRULLUS LANATUS (THUNB) EN LA FINCA "EL RODEO", UBICADA EN LA COMUNIDAD DE SAN BENITO, MUNICIPIO DE TIPITAPA". ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, que el Ing. HORACIO GONZALEZ ARIAS, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 03 de febrero del 2012.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano



CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 050
Managua, Febrero 12 del 2016.

Bachilleres
RANDALPH GUILLERMO ROBLERO GONZÁLEZ
CARLOS JOSÉ MEJÍA VADO
Presente

Estimados Bachilleres:

En atención a su carta de solicitud de **PRORROGA**, para finalizar su trabajo De Tesina titulado **"EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE SANDIA DE EXPORTACIÓN (CITRULLUS LANATUS (THUNB) EN LA FINCA "EL RODEO", UBICADA EN LA COMUNIDAD DE SAN BENITO, MUNICIPIO DE TIPITAPA"**. Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberán presentar concluido su documento debidamente revisado por el tutor guía **el 12 de Abril del 2016**.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,



Dr. ING. OSCAR GUTIERREZ SOMARRIBA
Decano

CC: Tutor
Archivo-Consecutivo

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la inteligencia, la fuerza y el empeño para seguir hacia adelante en medio de todos los problemas y dificultades, manteniéndose siempre a mi lado en los momentos buenos y difíciles.

A mi Tía- Abuela Corina González Sotelo (q.e.p.d) y a mi madre Reyna González, que me han acompañado desde pequeño, enseñándome a luchar por lo que quiero, sin perder de vista los valores inculcados.

A mis tías, tíos, hermana y primas, porque sin su ayuda económica incondicional y desinteresada no sería posible este triunfo y la realización de este anhelo personal: Coronar mi carrera.

Randolph Guillermo Roblero González.

DEDICATORIA

A DIOS, por darme la existencia y permitirme llegar hasta este punto obsequiándome salud, fortaleza y valor para lograr mis objetivos; por ser mi luz y mostrarme la verdad a cada paso en mi vida.

A mi Abuela y Madre Leticia Roa, por apoyarme en todo momento, por sus sabios consejos, valores, motivación y confianza que me han permitido ser una persona de bien.

A mi amada esposa Gema Díaz, por su paciencia, amor, compromiso, empeño y optimismo que siempre son ese ímpetu para seguir adelante; por ser amiga, compañera y darme ese equilibrio que me permite dar el máximo de mí.

A mi hijo Emmanuel Mejía, por tu presencia en mi vida, que ha sido el impulso más grande para terminar mi preparación profesional; por sus sonrisas eternas, que me recuerdan que la vida está llena de satisfacciones. Por ser sin duda, mi referencia para el presente y el futuro

A mi familia y amistades, por estar a mi lado brindándome su apoyo incondicional día a día y en mi culminación de estudios; por el tiempo y sabiduría transmitida en el desarrollo de mi formación.

Carlos José Mejía Vado.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa “**Frutas Frescas de Nicaragua**” **FRUTNICSA**, en la persona del Sr. Luis Montoya, por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, así como también a **SAGSA – DISAGRO** por hacer posible la conexión con dicha empresa.

Al Ms. Ing. Horacio González por la asesoría y tiempo dedicado durante la realización de este trabajo.

Al Ing. Álvaro Vargas por el apoyo brindado a través del personal bajo su cargo durante la realización de todas las pruebas necesarias para llevar a cabo este trabajo.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como propósito determinar si el sistema de riego por goteo instalado en el lote "D" de FRUTNICSA, cumple con las normas establecidas para sistemas de este tipo.

Se evaluaron factores y parámetros tales como la uniformidad de distribución del agua, mejor conocido como Coeficiente de Uniformidad para caudales y presiones; problemas relacionados con el emisor, conocido como Coeficiente de Variación; la forma y tamaño del Bulbo Húmedo y la Eficiencia de Riego; todo esto directamente desde el campo, mediante mediciones de caudal y presión en puntos representativos del sistema, tomando en cuenta los criterios orientativos y las metodologías aplicadas por Merriam y Keller, Bliesner, Bralts y Kesner, autores que abordan las uniformidades del sistema de riego por goteo relacionando los caudales erogados por estos, la presión con la que trabajan y los problemas propios del emisor.

Para la evaluación de esos factores se realizó un análisis amplio de la calidad del agua de riego, determinando su impacto en el cultivo, suelos y ramales del sistema, haciendo uso de las normas utilizadas por la FAO para la clasificación de las aguas de riego. Además, a través de la toma de muestras y datos, se estudiaron las características de los tipos de suelo encontrados y parámetros climáticos, que afectan la eficiencia agronómica del sistema; todo esto con el fin de sugerir recomendaciones relacionadas con el manejo del riego, que permitan una adecuada operación del sistema, tomando en cuenta los principios básicos del riego por goteo y la toma de decisiones basada en métodos científicos.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
CAPÍTULO I : PRESENTACIÓN	
1.1 Introducción -----	01
1.2 Antecedentes -----	02
1.3 Justificación -----	03
1.4 Objetivos -----	04
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Cultivo de Sandía -----	05
▪ Orígen -----	05
▪ Taxonomía -----	05
▪ Descripción Morfológica -----	05
▪ Etapas de Desarrollo -----	06
2.2 Comportamiento y profundidad de Masa Radicular -----	07
2.3 Bulbo Húmedo -----	07
2.4 Calidad del Agua de Riego -----	08
2.4.1 Parámetros de Calidad -----	08
▪ Relación de Adsorción de Sodio (RAS) -----	09
▪ Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) -----	10
▪ Carbonato Sódico Residual (CSR) -----	11
▪ Dureza -----	12
▪ Sólidos Disueltos Totales -----	13
2.4.2 Normas de Evaluación de Calidad -----	13
▪ Normas Riverside -----	14
▪ Normas L.V Wilcox -----	16
▪ Normas H. Greene (FAO) -----	16
2.5 Suelos -----	18
▪ Clasificación y Morfología -----	18

▪ Orden de Suelo	-----	18
▪ Grupo de Suelo	-----	19
▪ Serie de Suelo	-----	19
▪ Perfil Representativo (Chilamatillo Arcilloso)	-----	20
2.5.1 Topografía	-----	21
▪ Vocación de la tierra	-----	21
▪ Vocación Agrícola	-----	21
▪ Riesgo de erosión y grado de Mecanización	-----	21
▪ Unidades de Pendiente	-----	22
2.6 Características del suelo asociadas al Riego	-----	22
2.6.1 Composición Ideal de un suelo	-----	23
▪ Materiales Sólidos	-----	23
▪ Agua y Aire	-----	24
2.6.2 Propiedades Físicas del suelo	-----	24
▪ Textura	-----	25
▪ Estructura	-----	27
▪ Densidad Aparente	-----	28
▪ Densidad Real	-----	29
▪ Porosidad	-----	30
2.6.3 Propiedades Químicas del suelo	-----	32
▪ Acidez (pH)	-----	32
▪ Materia Orgánica Oxidable	-----	33
▪ Salinidad	-----	34
2.6.4 Propiedades Hídricas del suelo	-----	35
▪ Capacidad de Campo	-----	36
▪ Límite Productivo	-----	37
▪ Punto de Marchitez Permanente	-----	37
▪ Agua Fácilmente Utilizable	-----	38
▪ Velocidad de Infiltración	-----	40
▪ Ecuación de Kostiakov-Lewis	-----	41
2.7 Clima	-----	43

▪ Temperatura	-----	43
▪ Precipitación Pluvial	-----	44
▪ Distribución de las Lluvias	-----	45
▪ Período Canicular	-----	46
▪ Zonas Climáticas	-----	47
2.8 Evapotranspiración o Uso Consuntivo	-----	48
▪ Evapotranspiración de Referencia	-----	48
2.8.1 Ecuación de FAO- PENMAN-MONTEITH	-----	49
2.8.1.1 Parámetros Atmosféricos	-----	50
▪ Presión Atmosférica	-----	50
▪ Calor latente de vaporización	-----	51
▪ Constante Psicrométrica	-----	51
▪ Temperatura Media del Aire	-----	51
▪ Humedad del Aire	-----	52
▪ Presion media de vapor de saturación	-----	52
▪ Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor	-----	53
▪ Déficit de presión de vapor	-----	54
▪ Radiación	-----	54
▪ Radiación extraterrestre	-----	54
▪ Duración máxima de insolación	-----	55
▪ Radiación solar	-----	56
▪ Radiación neta solar o de onda corta	-----	56
▪ Radiación neta de onda larga	-----	57
▪ Radiación neta	-----	58
▪ Flujo del calor del suelo	-----	58
▪ Velocidad del Viento	-----	59
▪ Relación del viento con la altura	-----	59
▪ Coeficiente Kc del cultivo	-----	60
▪ Evapotranspiración máxima del cultivo	-----	61
2.9 Descripción del Riego por Goteo	-----	61
▪ Componentes del Riego por Goteo	-----	62

▪ Pérdidas de Agua	63
▪ Caudal del Sistema	64
▪ Espaciamiento entre Goteros y Laterales	64
▪ Tiempo de Riego	64
▪ Frecuencia de Riego	64
2.10 Evaluación Hidráulica del sistema de Riego por Goteo	65
▪ Coeficientes de Uniformidad	65
▪ Coeficiente de Uniformidad de Caudales	66
▪ Coeficiente de Uniformidad de Presiones	67
▪ Coeficiente de Variación Total de caudales y Presiones	68
▪ Coeficiente de Variación debido a Emisores	69
▪ Coeficiente de Uniformidad del Sistema	70
2.11 Eficiencias de Riego.....	71
▪ Eficiencia de Aplicación	72
▪ Eficiencia de Almacenamiento	73
▪ Eficiencia de Uniformidad	74
▪ Eficiencia de Riego del Sistema	74

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Ubicación	75
▪ Macrolocalización	75
▪ Microlocalización	76
▪ Vías de Acceso	77
▪ Georreferenciación del área de evaluación	78
3.2 Bulbo Húmedo y Masa Radicular	79
3.3 Evaluación de la Calidad del Agua de Riego	79
3.4 Características Edafoclimáticas	80
▪ Muestreo de Suelos	80
▪ Porcentaje de Humedad del Suelo	81
▪ Velocidad de Infiltración del Suelo	82
▪ Evapotranspiración de la Zona de Estudio	84

3.5 Evaluación Hidráulica del Sistema -----	85
▪ Coeficientes de Uniformidad y Eficiencias del Sistema -----	85

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación Agronómica del Sistema -----	86
4.2 Calidad del Agua de Riego -----	90
4.3 Evapotranspiración del cultivo de sandía en la zona -----	91
4.4 Evaluación Hidráulica del Sistema -----	92

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

▪ Conclusiones -----	100
▪ Recomendaciones -----	101

BIBLIOGRAFÍA -----	103
---------------------------	------------

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PÁGINA
Figura 1. El bulbo húmedo según el tipo de suelo -----	08
Figura 2. Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de Riego -----	15
Figura 3. Normas de L.V Wilcox. Diagrama para la interpretación del agua de riego-----	16
Figura 4. Diagrama H. Greene para la interpretación de la calidad del agua de riego-----	17
Figura 5. Representación porcentual de los principales componentes del suelo. -----	23
Figura 6. Triángulo Textural -----	27
Figura 7. Disponibilidad de Nutrientes en función del pH del suelo -----	33
Figura 8. Niveles de Referencia de materia Orgánica -----	34
Figura 9. Relación entre las Constantes Hídricas del suelo -----	39
Figura 10. Curva generalizada Kc único del cultivo -----	60
Figura 11. Componentes del riego por goteo -----	63
Figura 12. Macrolocalización -----	75
Figura 13. Microlocalización -----	76
Figura 14. Vías de Acceso -----	77

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PÁGINA
Tabla 1. Etapas Fenológicas del cultivo de Sandía -----	06
Tabla 2. Clasificación del Carbonato Sódico Residual (CSR) -----	12
Tabla 3. Clasificación de Aguas de riego según su Dureza -----	12
Tabla 4. Calidad del agua de riego según la concentración de Sólidos Disueltos Totales -----	13
Tabla 5. Calidad del agua de riego según Normas Riverside-----	14
Tabla 6. Riesgo de erosión y grado de mecanización según pendiente -----	22
Tabla 7. Unidades de pendiente según su descripción -----	22
Tabla 8. Textura del suelo y su variación en diámetro -----	26
Tabla 9. Densidad aparente del suelo en función de la textura -----	28
Tabla 10. Metodologías para la determinación de la Densidad Aparente del suelo -----	29
Tabla 11. Rangos de porosidad según el tipo de suelo -----	31
Tabla 12. Rangos de Interpretación de la porosidad para uso agrícola -----	31
Tabla 13. Clasificación del espacio poroso -----	32
Tabla 14. Suelos Salinos y sus efectos sobre los cultivos -----	35
Tabla 15. Valores del agua del suelo en función de la clase textural -----	39
Tabla 16. Clasificación de la magnitud de Infiltración -----	41
Tabla 17. Regímenes de Temperatura de Nicaragua -----	44
Tabla 18. Clasificación de los regímenes de precipitación a nivel nacional ----	44
Tabla 19. Tipos de distribución de llluvias a nivel nacional -----	46
Tabla 20. Clasificación de los periodos caniculares en la región -----	47
Tabla 21. Criterios de agrupación de zonas climáticas -----	47
Tabla 22. Principales métodos para el cálculo de la Evapotranspiración ----	48
Tabla 23. Criterio de clasificación del coeficiente de uniformidad de caudales y presiones -----	68

Tabla 24. Criterio de clasificación del coeficiente de variación total para caudales y presiones -----	69
Tabla 25. Criterio de clasificación del coeficiente de variación debido a emisores (C _{Ve}) -----	70
Tabla 26. Criterio de clasificación de la eficiencia de riego según el método --	74
Tabla 27. Área cubierta por las raíces (por estratos) -----	86
Tabla 28. Resultados de Clases Texturales de Suelos-----	86
Tabla 29. Resultados de Densidad Aparente de suelos -----	87
Tabla 30. Resultados de Porosidad de suelos -----	87
Tabla 31. Resultados de Acidez de suelos -----	87
Tabla 32. Resultados de Materia Orgánica de suelos -----	88
Tabla 33. Resultados de Conductividad Eléctrica de suelos -----	88
Tabla 34. Resultados de Porcentajes de Humedad de Suelo Arcilloso -----	89
Tabla 35. Resultados de Porcentajes de Humedad de Suelo Arcillo-Limoso---	89
Tabla 36. Resultado de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) del Agua de Riego -----	90
Tabla 37. Resultado de Carbonato Sódico Residual (CSR) del Agua de Riego -----	90
Tabla 38. Resultado de Dureza del Agua de Riego -----	90
Tabla 39. Resultado de Sólidos Disueltos Totales del Agua de Riego -----	90
Tabla 40. Clasificación según Normas Riverside del Agua de Riego -----	91
Tabla 41. Clasificación según Normas H. Green (FAO) del Agua de Riego ----	91
Tabla 42. Clasificación según Normas L.V Wilcox del Agua de Riego -----	91
Tabla 43. Resultado de la Evapotranspiración del cultivo de Sandia-----	92
Tabla 44. Resultados de Coeficientes Hidráulicos en Subunidades Evaluadas -----	94
Tabla 45. Resultados de Presiones y Caudales de válvulas representativas Lote "D" -----	96
Tabla 46. Resultados de Eficiencia de Aplicación del Sistema -----	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

CONTENIDO	PÁGINA
Ecuación 1. Relación de Adsorción de Sodio (RAS) -----	09
Ecuación 2. Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) -----	10
Ecuación 3. Carbonato Sódico Residual (CSR) -----	11
Ecuación 4. Dureza del Agua -----	12
Ecuación 5. Porcentaje de Sodio -----	16
Ecuación 6. Sumatoria de Sales -----	22
Ecuación 7. Densidad Aparente -----	28
Ecuación 8. Densidad Real -----	29
Ecuación 9. Porosidad total -----	31
Ecuación 10. Punto de Marchitez Permanente (PMP)-----	38
Ecuación 11. Agua Fácilmente Utilizable (AFU) -----	39
Ecuación 12. Infiltración Básica -----	40
Ecuación 13. Ecuación de Kostiakov-Lewis -----	41
Ecuación 14. Ecuación FAO Penman-Monteith -----	49
Ecuación 15. Presión Atmosférica -----	50
Ecuación 16. Constante Psicométrica -----	51
Ecuación 17. Temperatura Media del Aire -----	51
Ecuación 18. Presión Media de Vapor de Saturación -----	53
Ecuación 19. Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor ----	53
Ecuación 20. Radiación Extraterrestre para períodos diarios (Ra) -----	54
Ecuación 21. Duración Máxima de Insolación (N) -----	55
Ecuación 22. Radiación Solar (Rs) -----	56
Ecuación 23. Radiación Neta Solar o de onda corta (Rns) -----	56
Ecuación 24. Radiación Neta de onda larga (Rnl) -----	57
Ecuación 25. Radiación Neta (Rn) -----	58
Ecuación 26. Flujo de Calor del suelo (G(mes,i)) -----	59
Ecuación 27. Relación del viento con la altura (U2) -----	59

Ecuación 28. Evapotranspiración máxima del cultivo -----	61
Ecuación 29. Coeficiente de Uniformidad de Caudales (Cuq) -----	66
Ecuación 30. Coeficiente de Uniformidad de Presiones (Cup) -----	67
Ecuación 31. Coeficiente de variación total de caudales -----	68
Ecuación 32. Coeficiente de variación total de presiones -----	69
Ecuación 33. Coeficiente de variación debido a emisores -----	69
Ecuación 34. Coeficiente de Uniformidad del Sistema -----	70
Ecuación 35. Factor de Corrección de Handley y Col -----	71
Ecuación 36. Eficiencia de Aplicación -----	72
Ecuación 37. Eficiencia de Almacenamiento -----	73
Ecuación 38. Eficiencia de Riego del sistema -----	74

ÍNDICE DE ANEXOS

CONTENIDO	PÁGINA
Anexo 1. Clasificación de los Suelos de Orden Molisol	i
Anexo 2. Tipos de estructuras del suelo	iii
Anexo 3. Efectos del pH del suelo	iv
Anexo 4. Bulbo Húmedo y Desarrollo Radicular	v
Anexo 5. Rangos de Interpretación de Resultados de Laboratorio	vi
Anexo 6. Análisis Físico de Suelos Representativos FUTNICSA	vii
Anexo 7. Análisis Químico de Suelos Representativos FUTNICSA	viii
Anexo 8. Clasificación Textural (Suelo Arcilloso - Lote D)	ix
Anexo 9. Clasificación Textural (Suelo Arcillo Limoso - Lote D)	x
Anexo 10. Clasificación de la M.O Oxidable (Suelo Arcilloso - Lote D)	xi
Anexo 11. Clasificación de la M.O Oxidable (Suelo Arcillo Limoso - Lote D)	xii
Anexo 12. Análisis Físico Químico (Suelo Arcillo Limoso - Lote D)	xiii
Anexo 13. Análisis Físico Químico (Suelo Arcilloso - Lote D)	xiv
Anexo 14. Porcentajes de humedad del suelo - Lote D	xv
Anexo 15. Cálculo de velocidad de Infiltración Suelo Arcilloso	xvi
Anexo 16. Cálculo de velocidad de Infiltración Suelo Arcillo Limoso	xxi
Anexo 17. Temperatura media máxima (°C) – INETER	xxv
Anexo 18. Temperatura media (°C) - INETER	xxvi
Anexo 19. Temperatura media mínima (°C) - INETER	xxvii
Anexo 20. Viento medio 10m (m/seg) - INETER	xxviii
Anexo 21. Radiación Solar (cal/m ² * día) - INETER	xxix
Anexo 22. Tensión de vapor de agua (mb) - INETER	xxx
Anexo 23. Presión ane (mb) - INETER	xxxi
Anexo 24. Cálculo de Evapotranspiración mediante Penman-Monteith	xxxii
Anexo 25. Resultados Analíticos Físico-Químicos emitidos por el laboratorio de aguas CIRA/UNAN	xliii

Anexo 26. Procesamiento de datos emitidos por el laboratorio de aguas CIRA/UNAN -----	xliv
Anexo 27. Cálculo de Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Dureza del Agua de Riego -----	xlv
Anexo 28. Cálculo de Sales presentes en el agua de riego -----	xlvii
Anexo 29. Norma Riverside para evaluar calidad de agua de riego Lote D FRUTNICSA -----	xlviii
Anexo 30. Norma H. Greene para evaluar calidad de agua de riego Lote D FRUTNICSA -----	xliv
Anexo 31. Norma L.V. Wilcox para evaluar calidad de agua de riego Lote D FRUTNICSA -----	I
Anexo 32. Especificaciones de Cintas de Riego Aqua-Traxx -----	li
Anexo 33. Curva característica Gotero AT Clásico 4" – 0.13 gph -----	lii
Anexo 34. Datos de caudales y presiones 1, turno 7 -----	liii
Anexo 35. Datos de caudales y presiones válvula 3, turno 7 -----	liv
Anexo 36. Datos de caudales y presiones válvula 1, turno 4 -----	lv
Anexo 37. Datos de caudales y presiones válvula 4, turno 4 -----	lvi
Anexo 38. Datos de caudales y presiones válvula 1, turno 1 -----	lvii
Anexo 39. Imágenes de pruebas de campo Lote D -----	lviii
Anexo 40. Plano de puntos muestreados y diseño del sistema Lote D -----	lix

CAPITULO I – PRESENTACION

1.1 INTRODUCCIÓN

La finca el Rodeo, propiedad del grupo FRUTNICSA se encuentra ubicada en la comunidad de San Benito, Municipio de Tipitapa, en los alrededores de la Hacienda San Jacinto, ésta se dedica enteramente a la actividad agrícola, siendo la sandía (***Citrullus Lanatus* (Thunb.)**) uno de los cultivos más importantes dentro de la producción de la empresa, al ser comercializada en el mercado Norteamericano y a nivel Nacional.

La producción de este cultivo se realiza en el periodo seco o de verano, bajo régimen de riego por goteo, por ser uno de los sistemas que más se adecua al cultivo de cucurbitáceas.

El área de evaluación seleccionada fue el lote “D” de dicha finca, con una extensión de 35 Ha (49.60 Mz), el cual cuenta con un sistema de riego por goteo recientemente instalado y actualmente operando. El riego aplicado se basa en conocimientos empíricos del personal a cargo, lo que provoca deficiencia del sistema en cuanto a lámina de agua aplicada, incurriendo a su vez en costos de operación. Es por esta razón que se considera de mucha importancia evaluar el sistema de riego en general, en concordancia con las diferentes etapas fenológicas del cultivo, así como también el manejo de éste por parte del personal, para lograr una adecuada explotación y mayores rendimientos.

El presente estudio se realizó en el periodo comprendido entre los meses de Febrero y Julio, con el sistema de riego operando, permitiendo la realización de todas las pruebas de campo, que mostrarán la situación real del sistema y su eficiencia.

1.2 ANTECEDENTES

El riego por goteo moderno se desarrolló en Alemania hacia 1860, cuando los investigadores comenzaron a experimentar la sub-irrigación con ayuda de tuberías de arcilla para crear una combinación de irrigación y de sistema de drenaje.

Con la llegada de los plásticos modernos después de la Segunda Guerra Mundial, fueron posibles numerosas mejoras. Micro-tubos de plástico y diversos tipos de goteros han sido empleados para invernaderos en Europa y en Estados Unidos.

La moderna tecnología de riego por goteo fue inventada en Israel por Simcha Blass y su hijo Yeshayahu. En lugar de liberar el agua por agujeros minúsculos, el agua se libera por tuberías más grandes y más largas empleando el frotamiento para ralentizar la velocidad del agua en el interior de un emisor (gotero) de plástico. El primer sistema experimental de este tipo fue establecido en 1959 cuando la familia de Blass en el Kibboutz Hatzetim creó una compañía de riegos llamada Netafim.

En nuestro país la actividad de irrigación agrícola se ha venido extendiendo desde hace algunos años, tanto en productores con grandes extensiones de tierras para fines industriales o de exportación, como los pequeños y medianos productores cuya producción va dirigida al mercado nacional. El problema principal de los productores nacionales ha sido darle un manejo eficiente al riego, de manera que puedan aprovechar al máximo el mismo, evitándose en todo lo posible el derroche de energía, déficit o exceso de aplicación de agua en el cultivo, desgaste de los suelos y otros recursos considerados indicadores económicos en la productividad de una finca.

A la fecha no se poseen datos de evaluaciones del sistema de riego en sandía para la parcela en estudio, al igual que en otros lotes de la finca, donde se ha venido desarrollando el sistema de riego por goteo en cucurbitáceas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El municipio de Tipitapa posee un clima característico con veranos largos y bien definidos e inviernos cortos con precipitaciones mal distribuidas y tardías. Por esta razón la actividad agrícola bajo régimen de riego, constituye una actividad fundamental para lograr la explotación eficiente y razonable de los recursos suelo y agua, sobre todo en comunidades donde la actividad económica más fuerte es la agricultura, como lo es San Benito.

La finca El Rodeo presenta condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo de Sandía, posee una topografía relativamente plana y suelos arcillosos medianamente profundos. Así mismo, se considera que el sistema de riego empleado se adecua a una gran variedad de cultivos, entre estos las cucurbitáceas.

Se considera de vital importancia evaluar la eficiencia del sistema en general, volúmenes y frecuencias de riego, en concordancia con los estados de desarrollo del cultivo, así como la explotación por parte del agricultor, con el propósito de brindar al productor una herramienta de consulta que le permita controlar mejor la explotación del riego y evitar gastos innecesarios de agua y energía de bombeo, que incrementan los costos de operación.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el funcionamiento del riego por goteo en el cultivo de Sandía de exportación (*Citrullus Lanatus* (Thunb.)) en la finca “El Rodeo”, ubicada en la comunidad de San Benito, municipio de Tipitapa.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar el comportamiento y profundidad de la masa radicular.
2. Analizar la forma y tamaño del bulbo húmedo, porcentajes de humedad del suelo y su relación con la Velocidad de Infiltración.
3. Evaluar la calidad del agua de riego.
4. Determinar las características Edafoclimáticas de la zona en estudio.
5. Evaluar la eficiencia del sistema de riego y el funcionamiento hidráulico del mismo.

CAPITULO II - MARCO TEÓRICO

2.1 CULTIVO SANDÍA (*Citrullus Lanatus* (Thunb.))

▪ Origen

La sandía tiene su origen en el desierto de Kalahari en el continente Africano, donde aún hoy en día crece de forma silvestre. Pero los primeros vestigios de su cultivo se encontraron concretamente en Egipto y datan del 3.000 A.C. Los fértiles márgenes del río Nilo fueron sin duda una de las zonas donde se expandió el cultivo de esta fruta, ayudando en la producción el agua del río y el clima cálido de estas latitudes. Desde aquí, ascendiendo el Nilo, llegó hasta el Mar Mediterráneo y se comercializó en los países ribereños como Italia, Grecia y España.

▪ Taxonomía

Familia: Cucurbitaceae

Género: Citrullus

Especie: Lanatus

Nombre científico: *Citrullus Lanatus* (Thunb.) Matsum.&Nakai.

Sinónimos: *Citrullus Vulgaris* Schrad. inEckl. &Zeyh. / *Colocynthis Citrullus* (L.) Kuntze / *Cucumis Citrullus* (L.)Ser. in DC. / *Cucurbita Citrullus* L. / *Momordica Lanata* Thunb.

▪ Descripción Morfológica

El tallo es recubierto de tricomas y provistos de zarcillos, que se extienden rastreramente por el suelo, pudiendo desarrollarse a más de 3 metros de la base del tallo.

Las hojas están provistas de varios foliolos, divididos en 3-5 lóbulos redondeados; en el haz, el limbo tiene apariencia lisa, mientras que el envés presenta un aspecto áspero y recubierto de pilosidades.

La sandía principalmente es una planta monoica, es decir que en la misma planta existen flores masculinas y femeninas por separado. Las flores se originan en la parte de abajo de las hojas, principalmente en las ramificaciones. Las primeras flores en aparecer son las masculinas, coexistiendo los dos sexos en una misma planta, pero en flores distintas (flores unisexuales). En las plantas monoicas, las flores femeninas aparecen en ramificaciones alejadas de la base. En las plantas andromonoicas, las corolas son amarillas.

Los frutos son bayas globulosas, oblongas o elipsoidales, con cortezas de colores desde verdes de diferentes tonalidades a negras con pulpas de color rojo, rosado, anaranjado y en algunas ocasiones hasta amarillo.

El contenido y el dulzor del azúcar son los factores críticos en la determinación de la calidad de los muchos cultivos de sandías. La acumulación de azúcares ocurre en las fases posteriores del desarrollo de la fruta y se puede retardar por las lluvias excesivas o la sequía severa, tensión nutricional, o por enfermedad y daño del insecto al follaje de las plantas.

- **Etapas de desarrollo**

La sandía tiene un ciclo de vida considerado como anual, que oscila entre 80 y 120 días (en dependencia de la variedad), que abarca desde la emergencia hasta la cosecha.

Tabla 1. Etapas fenológicas del cultivo de sandía

Etapas	Descripción	DDT	Kc
1	Crecimiento I	0-10	0.25
2	Crecimiento II	10-18	0.35
3	Floración	18-25	0.65
4	Fructificación	25-35	0.9
5	Llenado	35-55	0.96 -1.1
6	Maduración	55-60	0.83
7	Cosecha	>60	0.65
DDT = Días después del trasplante			

Fuente: Manual para la producción de Sandía (USAID-RED, 2007)

2.2 COMPORTAMIENTO Y PROFUNDIDAD DE MASA RADICULAR

El sistema radicular además de servir como anclaje al suelo, absorbe el agua y los nutrientes que necesita la planta para su crecimiento. El tamaño de la raíz, depende del cultivo y de su estado de desarrollo. El cultivo de Sandía posee un sistema radicular muy peculiar, ya que puede crecer mucho en lo que se refiere a la raíz principal, aunque el resto del sistema se encuentra distribuido más superficialmente.

Los estudios sobre desarrollo y distribución radicular son de gran valor práctico, pues están muy relacionados con la selección de variedades incluso como un producto de exportación, la superficie bajo cultivo y época de aplicación de fertilizantes, riego, entre otros.

Uno de los métodos más difundidos en la actualidad es el descrito por KOLENSNIKOV (1971) también conocido como método del “Monolito” , en donde se logra un análisis claro del desarrollo radicular alcanzado por los cultivos en el perfil de suelo en el que este se desarrolla.

2.3 BULBO HÚMEDO

Es la zona o volumen de suelo donde el emisor o gotero de riego localizado humedece y donde también se encuentra el mayor volumen de masa radicular del cultivo. La forma y tamaño del bulbo, están condicionados en gran parte por el tipo de suelo, caudal del gotero y tiempo de puesta. Para facilitar la absorción de agua por parte del cultivo es necesario tener en cuenta cómo se comporta el bulbo húmedo horizontal y transversalmente a la línea del cultivo.

En suelos pesados (de textura Arcillosa), la velocidad de infiltración es menor que en suelos ligeros (de textura Arenosa), lo que hace que el charco sea mayor y el bulbo se extienda más horizontalmente que en profundidad. Si se aplica la misma cantidad de agua en tres suelos con texturas diferentes, la forma del bulbo variará en función de esta. **(Ver Figura 1)**

Figura.1 Bulbo húmedo según tipo de suelo



Fuente: <http://info.elriego.com/portfolios/el-bulbo-humedo-manejo-del-bulbo>

Para que el bulbo moje una determinada superficie de suelo y el agua pueda ser absorbida por las raíces de las plantas adecuadamente, es importante tener en cuenta cómo se extiende el bulbo horizontalmente. Esta extensión del bulbo no se puede aumentar indefinidamente incrementando el caudal del emisor y/o el tiempo de riego. Si se desea conseguir una extensión de agua adecuada hay que actuar sobre el número de emisores que se colocan en las cercanías de las plantas.

Por otra parte, la profundidad del bulbo está relacionada con la velocidad de infiltración del suelo y con el tiempo de aplicación. Por ello, es preciso tener en cuenta los factores que afectan la forma del bulbo húmedo para decidir el número de emisores a colocar y el caudal que deben suministrar para que se produzca una buena distribución del agua en el suelo.

2.4 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

2.4.1 Parámetros de Calidad

Están definidos por varias características del agua proveniente de la fuente de abastecimiento utilizada en el riego. Dichas características son: Relación de Adsorción de Sodio, Porcentaje de Sodio intercambiable, Dureza y Sólidos

Totales Disueltos, las cuales a su vez pueden ocasionar el mal funcionamiento del sistema.

- **Relación de Adsorción de Sodio (RAS)**

Es un parámetro que representa la posible influencia del ion Sodio, presente en el agua de riego, sobre el suelo. Una elevada proporción relativa de Sodio respecto a los iones Calcio y Magnesio en el agua de riego puede inducir cambios de estos iones por los de sodio en los suelos, provocando la degradación del mismo con la consiguiente pérdida de estructura y permeabilidad. La Relación de Adsorción de Sodio (RAS), se calcula según la ecuación:

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde,

RAS: Relación de Adsorción de Sodio, [meq / l].

[Na⁺]: Concentración del ion Sodio en el agua de riego, [meq / l].

[Ca²⁺]: Concentración del ion Calcio en el agua de riego, [meq / l].

[Mg²⁺]: Concentración del ion Magnesio en el agua de riego, [meq / l]

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), sugiere la interpretación del RAS, tomando en cuenta no sólo las concentraciones de Sodio, Calcio y Magnesio, sino también, la cantidad de Carbonatos y Bicarbonatos presentes en el agua de riego.

La importancia de medir el RAS radica en que el ion Sodio tiene por característica una fuerte tendencia a desestabilizar la estructura del suelo, causando anorexia en las plantas. En relación con el valor RAS, el Laboratorio de Salinidad de Riverside clasifica el agua en los siguientes cuatro grupos:

GRUPO S1: Valor RAS entre 0 y 10. Son aguas de bajo contenido en sodio, útiles para el riego de la mayoría de suelos y cultivos.

GRUPO S2: Valor RAS entre 10 y 18. Son aguas de mediano contenido en sodio, útiles para el riego de suelos de textura gruesa o de suelos orgánicos con buena permeabilidad.

GRUPO S3: Valor RAS entre 18 y 26. Son aguas de alto contenido en sodio, sólo aplicables a suelos yesíferos o a suelos con prácticas especiales de manejo. No son útiles para el riego de cultivos altamente sensibles al sodio, como lo son la mayoría de frutales.

GRUPO S4: Valor RAS mayor de 26. Son aguas de muy alto contenido en sodio, prácticamente inadecuadas para el riego de la mayoría de suelos y cultivos.

- **Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)**

El PSI expresa el porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sodificación y dispersión de la arcilla cuando el **PSI > 15%**.

Se calcula según la ecuación:

$$PSI = \frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde,

PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable,[%].

[Na⁺]: Concentración del ion Sodio en el agua de riego,[meq / l].

[Ca²⁺]: Concentración del ion Calcio en el agua de riego,[meq / l].

[Mg²⁺]: Concentración del ion Magnesio en el agua de riego,[meq / l].

[K⁺]: Concentración del ion Potasio en el agua de riego,[meq / l].

- **Carbonato Sódico Residual (CSR)**

El cálculo de carbonato sódico residual CSR se emplea para predecir la tendencia del calcio y magnesio a precipitar en el suelo cuando se riega con aguas altamente carbonatadas. Cuando esto ocurre, aumentará la proporción relativa de sodio presente en el suelo, es decir, aumentará el valor de RAS y por tanto, el riesgo de sodificación del suelo, a pesar de que la cantidad presente de sodio no varíe.

El concepto de Carbonato de Sodio Residual tiene en cuenta las concentraciones de los aniones carbonato y bicarbonato y de los cationes calcio y magnesio. Un suelo regado con agua con un CSR alto (exceso de carbonatos y bicarbonatos en relación con el contenido de calcio y magnesio) puede transformarse en sódico. Este parámetro predice la acción degradante del agua sobre las plantas y suelo así como la tendencia a precipitar de Ca y Mg.

Se calcula mediante la ecuación:

$$CSR = ([CO_3H^-] + [CO_3^{2-}]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

CSR: Porcentaje de Sodio Intercambiable, [meq / l].

[CO₃H⁻]: Concentración del ion Bicarbonato en el agua de riego, [meq / l].

[CO₃²⁻]: Concentración del ion Carbonato en el agua de riego, [meq / l].

[Ca²⁺]: Concentración del ion Calcio en el agua de riego, [meq / l].

[Mg²⁺]: Concentración del ion Magnesio en el agua de riego, [meq / l].

Tabla 2. Clasificación del carbonato sódico residual (CSR)

Rango	Descripción del CSR
< 1.25	Recomendable
1.25 - 2.50	Poco Recomendable
> 2.50	No Recomendable

Fuente: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales
(Carlos Cadahía López, 2005)

▪ **Dureza**

El grado de dureza permite clasificar el agua de riego en función de la relación de los cationes Calcio y Magnesio. Esta relación indica posibles problemas de obturaciones por precipitación en los emisores del sistema de riego. Las unidades de medida de estos parámetros son Grados Hidrotimétricos Franceses (GHF). Se calcula mediante la expresión:

$$DUREZA = \frac{([Ca^{2+}] \times [2.5]) + ([Mg^{2+}] \times [4.12])}{10} \quad (\text{Ec. 4})$$

Dónde:

DUREZA: Dureza del agua, [GHF].

[Ca²⁺]: Concentración del ion Calcio en el agua de riego, [mg / l].

[Mg²⁺]: Concentración del ion Magnesio en el agua de riego, [mg / l].

Tabla 3. Clasificación de Aguas de riego según su Dureza

Tipo de agua	Grados hidrotimétricos franceses
Muy Blanda	< 7
Blanda	7 – 14
Semiblanda	14 – 22
Semidura	22 – 32
Dura	32 – 54
Muy Dura	> 54

Fuente: Cánovas Cuenca J.(1986) Calidad Agronómica de las agua de riego.

▪ **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Las partículas en suspensión son materiales que flotan en el agua. Proceden de tres fuentes principales: la erosión natural del suelo, la materia que se forma orgánicamente dentro de la masa de agua y los materiales producidos como consecuencia de la actividad humana.

En el agua de riego, se distinguen 3 clases de partículas en suspensión:

- **Agentes Físicos:** Pueden consistir de partículas de suelo de varios tamaños, arena y limo, material de erosión acumuladas en los embalses y materiales procedentes de las líneas o canales.
- **Agentes Químicos:** Comprenden cantidades de sales solubles que pueden precipitarse en la superficie de los emisores, después que se evapora el agua en los periodos entre un riego y el otro.
- **Agentes Biológicos:** Organismos y microorganismos contenidos en la materia orgánica transportada.

Tabla 4. Calidad del agua de riego según la concentración de Sólidos Disueltos Totales

Concentración de SDT [mg / l]	Grado de restricción en el uso
450	Sin restricción de uso
450 – 2000	Restricción débil a moderada
> 2000	Restricción moderada a severa

Fuente: Fuente: Wastewater quality guidelines for agricultural use.
FAO Irrigation and Drainage, paper 47.

2.4.2 Normas de Evaluación de Calidad

Las normas combinadas se usan para catalogar la calidad agronómica de un agua. Las de aplicación más extensa son:

- ✓ **Normas Riverside**
- ✓ **Normas Wilcox**

✓ **Normas Green**

En la actualidad, se estudia la calidad de un agua de riego principalmente con el análisis de la primera norma (Norma Riverside), sin embargo, expertos en el ámbito de riego, sugieren la combinación o la interpretación de las tres Normativas, para obtener un resultado más exigente y generalizado de la calidad del agua en estudio.

▪ **Normas Riverside**

Las normas Riverside se elaboraron en Estados Unidos en 1954 y tuvieron una amplia difusión en las zonas áridas y semiáridas. Esta norma combinada es la más extendida en uso y refleja las condiciones de salinidad y Relación de Adsorción de Sodio clasificando las aguas en multitud de rangos. Se establecen categorías de clases de aguas enunciadas según las letras C (en base a la Conductividad Eléctrica) y S (En base al valor de RAS).

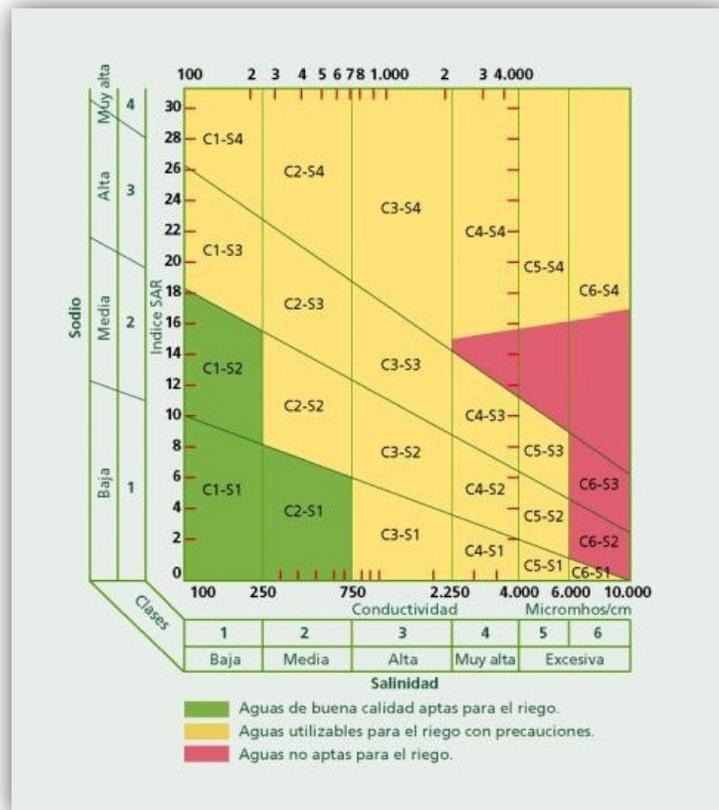
Tabla 5. Calidad del agua de riego según Normas Riverside

Tipos	Calidad y normas de uso
C 1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C 2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C 3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C 4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que solo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C 6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.

S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Fuente: Fertirrigación, Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales (Carlos Cadahía López, 2005)

Figura.2 Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de Riego

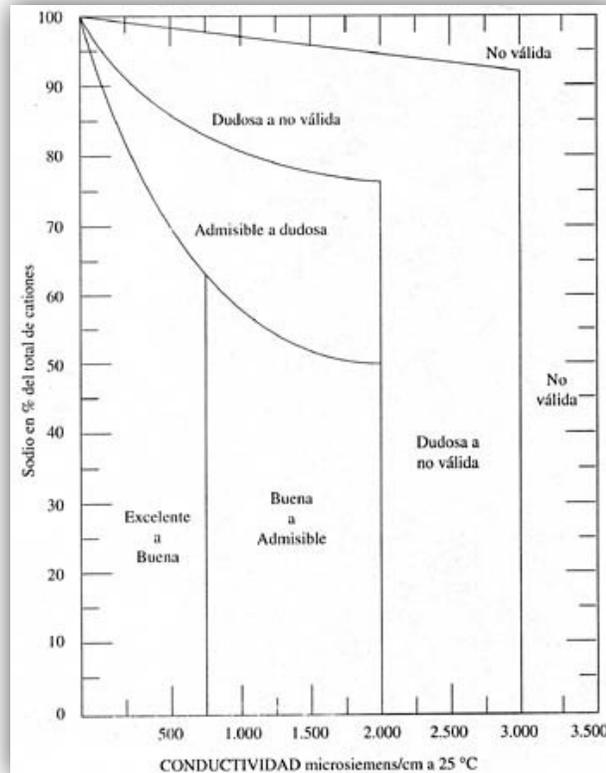


Fuente: U.S Salinity Laboratory Staff (1954)

- **Normas L.V Wilcox**

Considera como índices para la clasificación de aguas el porcentaje de sodio respecto al de cationes y la Conductividad Eléctrica.

Figura.3 Normas de L.V Wilcox. Diagrama para la interpretación del agua de riego (Adaptado de “The Quality of Water for Irrigation USE”, USDA)



Fuente: Cánovas (1986)

- **Normas H. Greene (FAO)**

Toma como base la concentración total de sales expresadas en meq/l con relación al porcentaje de sodio (este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/l).

$$\% Na = \frac{[Na^+]}{(\sum Cationes)} \times 100 \quad (Ec. 5)$$

Donde:

% Na: Porcentaje de Sodio del total de Cationes,[%].

$[Na^+]$: Concentración del ion Sodio en el agua de riego, [meq / l].

$[\sum Cationes]$: Sumatoria de Cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+), [meq / l].

$$[\sum Sales] = [\sum Cationes] + [\sum Aniones] \quad (Ec. 6)$$

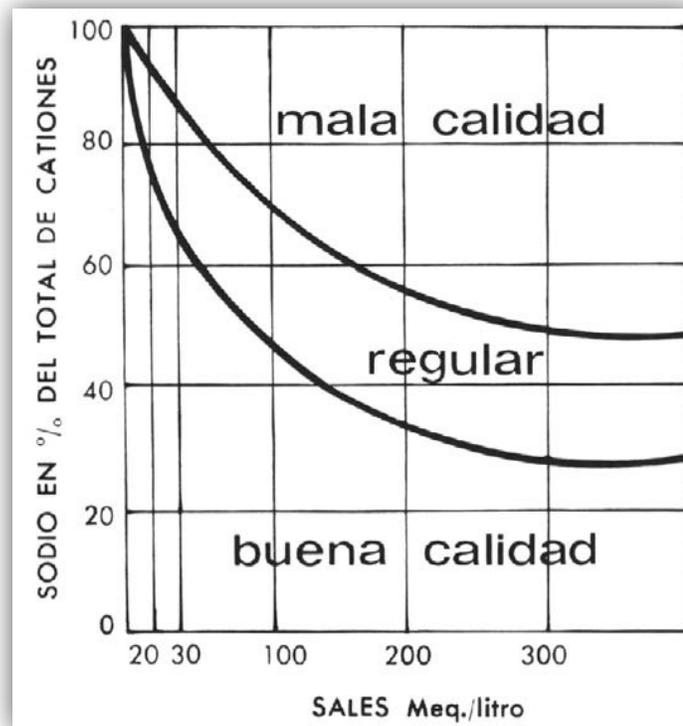
Donde,

$[\sum Sales]$: Sumatoria de Sales presentes en el agua de riego, [meq / l].

$[\sum Cationes]$: Sumatoria de Cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+), [meq / l].

$[\sum Aniones]$: Sumatoria de Aniones (Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^- , CO_3H^- , NO_3^-), [meq / l].

Figura.4 Diagrama H. Greene para la interpretación de la calidad del agua de riego



Fuente: (Adaptado de Utilization de terres salines, H. Greene, F.A.O.)

2.5 SUELOS

▪ Clasificación y Morfología

La clasificación de los suelos de la costa del Pacífico de Nicaragua se basó en "Un Sistema Comprensivo de Clasificación de Suelos", (7ª Aproximación) de 1960 y su suplemento de 1967, publicados por el Servicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norte América.

Cabe destacar, que este sistema ha sido adoptado por los Estados Unidos y muchos otros países del mundo. Las series de suelos en el nivel más alto de clasificación, seguidas de sus subórdenes, grandes grupos y subgrupos.

La zona en estudio, corresponde al orden de los Molisoles, dentro del grupo conocido como Haplustolls, ya que es parte de la serie Chilamatillo.

▪ Orden de Suelo

Los *Molisoles* son suelos que tienen un epipedón mólico. Este se define como un horizonte mineral superficial con un mínimo del uno por ciento (1%) de materia orgánica, generalmente tiene un espesor de 18 a más de 25 centímetros, tiene una saturación de bases mayor del 50 por ciento (50%). Predominan los cationes bivalentes en la saturación y tiene una estructura de moderada a fuerte. Este horizonte se forma por la descomposición dentro del perfil de residuos orgánicos en presencia de cationes bivalentes. Los residuos orgánicos consisten principalmente de raíces y hojas llevados dentro del suelo por insectos y animales. **(Ver Anexo 1, pág. i)**

Una gran parte de los Molisoles del oeste de Nicaragua se han desarrollado de cenizas volcánicas o de rocas con alto contenido de materiales piroclásticos. Los factores de formación de suelos han sido más fuertes, o han actuado durante un periodo de tiempo más largo que los factores que formaron los Inceptisoles, desarrollados de material madre similar. Como consecuencia de esto, los cambios físicos y químicos son más pronunciados. Los minerales meteorizables

han sido reducidos a tamaños más pequeños, y los movimientos físicos y químicos del material más fino del suelo, han resultado en una mayor densidad aparente y en la acumulación de arcilla fina en el subsuelo.

En esta área (Zona de Estudio) de poca precipitación los Molisoles están en el los subórdenes de Ustolls y Aquolls. Los más extensivos son los Ustolls, con los grandes grupos Argiustolls, Durustolla, Haplustolls y Calciustolls.

- **Grupo de Suelo**

Los Suelos Vertic Haplustolls son de desarrollo juvenil y pertenecen al orden de los Molisoles, que necesariamente presentan un epipedón mólico bien definido como horizonte de diagnóstico; son altos en bases y los procesos de transformaciones intensos en los horizontes cámbico y C.

La redistribución de los coloides es más notoria que en los Eutradsols, pero sin llegar a establecer diferencias texturales entre los horizontes A y B.

La evolución de estos suelos, presenta una etapa intermedia entre los de desarrollo juvenil e inmaduro. El horizonte cámbico es un poco más rojizo y se desarrolla de tobas y brechas volcánicas básicas, que comprenden el basamento de la mayor parte de la planicie de Tipitapa.

Comprenden la serie de suelos Chilamatillo, Los Laureles y el Triunfo, de amplia distribución en las planicies del Noreste y Este del lago de Managua.

- **Serie de Suelo**

Los suelos de la serie Chilamatillo, son miembros de la familia Montmorillonítica fina, isohipertérmica de los Vertic Haplustolls. Se encuentran en planicies uniformes, casi planas a onduladas, con toba subyacente, que en parte ha sido depositada en agua. Una capa de ceniza volcánica ha sido depositada encima de la mayoría de estos suelos. Esta capa tiene un espesor de 40 centímetros o más en los límites del sur cerca de Tipitapa, pero se vuelve más delgada hacia el norte y noreste, y no es aparente al norte de San Benito.

Los suelos que se han desarrollado en los lugares de capa gruesa, tienen pocos fragmentos de talpetate (duripan), pero en la ceniza delgada o donde está ausente, el suelo se ha desarrollado principalmente de la toba subyacente y no tiene fragmentos de talpetate. Los suelos Chilamatillo son profundos a moderadamente superficiales, bien drenados y tienen permeabilidad moderadamente lenta.

▪ **Perfil representativo de Chilamatillo Arcilloso**

0 a 22 centímetros, rojo oscuro opaco, arcilloso firme a friable; estructura granular fino a medio, fuerte; abundantes raíces finas; medianamente ácido; límite abrupto y uniforme.

22 a 36 centímetros, pardo rojizo oscuro a rojo oscuro opaco, arcilla firme; estructura de bloques subangulares gruesos, que rompen a medios y finos, moderada; pocas raíces finas y muy finas; medianamente ácido.

36 a 58 centímetros, pardo rojizo oscuro, franco arcilloso firme; estructura igual que el horizonte anterior; pocas raíces finas; medianamente ácido.

58 a 76 centímetros, pardo rojizo oscuro, franco firme con algunas gravas finas; estructura de bloques subangulares gruesos, que rompen a bloques subangulares medios y finos, moderada; muy pocas raíces finas, mediante ácido.

76 a 98 centímetros, pardo amarillento y pardo amarillento oscuro, franco firme con algunas gravas finas; masivo; muy pocas raíces finas; medianamente ácido; límite abrupto y uniforme.

98 a + centímetros, pardo claro, toba dura.

En algunos lugares, donde la pendiente es inclinada, los suelos Chilamatillo tienen textura superficial franca a franca arcillosa y un subsuelo arcilloso. Los suelos Chilamatillo tienen capacidad de humedad disponible moderadamente alta y una zona radicular moderadamente profunda. El contenido de materia

orgánica es moderadamente alto en la superficie y moderado en el subsuelo. Son suelos bajos en potasio asimilable, y muy diferente en fósforo.

2.5.1 TOPOGRAFÍA

La topografía, de acuerdo a su forma y gradiente, en acción combinada con las propiedades fisico-químicas de los suelos y de la precipitación pluvial, conforman el factor más importante para el control de la erosión y de la humedad del suelo.

Por otra parte, definen la vocación potencial de la tierra y el conjunto de prácticas necesarias que se requieren para establecer un manejo adecuado de los suelos y garantizar el mínimo deterioro del recurso.

- **Vocación de la tierra**

En base al gradiente del terreno, se han establecido rangos de pendientes para la clasificación de la vocación de la tierra y definición de las clases de utilización, destacando las siguientes.

- **Vocación Agrícola**

Comprende terrenos apropiados para cultivos que se adaptan a pendientes de 0 a 50 por ciento y de acuerdo a las cualidades o limitaciones se pueden establecer las siguientes clases de utilización:

0 a 15 %: Cultivos anuales; semiperennes; perennes; pastoreo intensivo o bosques de producción.

15 a 30 %: Cultivos semiperennes; perennes; pastoreo extensivo; agroforestería o bosques de producción.

30 a 50 %: Cultivos perennes; silvopasturas o bosques de producción.

- **Riesgo de erosión y grado de mecanización**

La relación teórica existente entre la pendiente del terreno con los parámetros de riesgo de erosión y grado de mecanización, se resume en el siguiente cuadro:

Tabla 6. Riesgo de erosión y grado de mecanización según pendiente

Rango de pendiente	Riesgo de erosión	Grado de mecanización
0 - 1.5	Bajo	Amplio
1.5 - 4	Moderado	Reducido
4 - 8	Fuerte	Mínimo
8 - 15	Severo	Restringido
15 - 30	Muy Severo	Cero

Fuente: Levantamiento de Suelos de la Región Pacífica de Nicaragua.

▪ **Unidades de pendiente**

En cuanto a símbolos y rangos, estas unidades son las mismas expresadas en los mapas de suelos publicados por el departamento de CATASTRO (INETER) a escala 1:20,000, siendo estas las siguientes:

Tabla 7. Unidades de pendiente según su descripción

Símbolo	Descripción de la pendiente	Rango (%)
A	Plano a Casi Plano	0 - 1.5
B	Ligeramente Ondulado a Ligeramente Inclinado	1.5 - 4
C	Moderadamente Ondulado a Inclinado	4 - 8
D	Fuertemente Ondulado a Inclinado	8 - 15
E	Moderadamente Escarpado	15 - 30
F	Escarpado	30 - 50
Ff	Muy Escarpado	50 - 75
G	Precipicio	> 75

Fuente: Levantamiento de Suelos de la región Pacífica de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua

2.6 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO ASOCIADAS AL RIEGO

El término suelo involucra el concepto edafológico define como un cuerpo natural, tridimensional, trifásico, que ocupa un lugar en el espacio, con características únicas, producto de la transformación del material originario o parental, a través de procesos destructivos y de síntesis provocados por una

determinada combinación de factores ambientales que se expresan en un perfil con horizontes y / o estratos.

2.6.1 Composición ideal de un suelo

En una fracción volumétrica (volumen unitario) de un suelo, se identifican los siguientes cuatro componentes:

- Material Mineral
 - Materia Orgánica
 - Aire
 - Agua
- Estos llamados
COMPONENTES SÓLIDOS

Dichos elementos, se pueden representar en un modelo general que ilustre esa composición porcentual por volumen de los componentes de un suelo ideal (**Ver Figura 5**), pero en la realidad se encuentran muchas variaciones en las relaciones volumétricas de esos cuatro parámetros.

Figura.5 Representación porcentual de los principales componentes del suelo (Fracción volumétrica)



Fuente: Fundamentos de Edafología (Jorge Núñez Solís)

▪ Materiales Sólidos

Los materiales sólidos de un suelo, corresponden a la fracción de Materia Orgánica y Materia Mineral.

- **Materia Orgánica:** Corresponde a los residuos de origen biológico, predominante vegetal, que se acumulan en el suelo.
- **Materia Mineral:** Está constituida por los componentes inorgánicos del suelo (arcillas, limos, arenas, piedras, gravas, etc.).

La explotación agrícola intensiva hace decrecer, en pocos años, los contenidos de materia orgánica del suelo, lo que afecta otras propiedades del mismo, tales como el grado de porosidad, la infiltración del agua y la estabilidad estructural de las partículas del suelo (peds). Se considera que valores de 3 a 6 % de materia orgánica en un suelo, ejercen una influencia favorable sobre las propiedades físicas y químicas de ese suelo y beneficia los cultivos establecidos en el.

Los componentes minerales incluyen a las arcillas (partículas finas menores de 0.002 mm de diámetro) y a los limos y las arenas (cuyos diámetros son menores de 2 mm).

- **Agua y Aire**

Se estima que, porcentualmente, los componentes minerales más los orgánicos constituyen aproximadamente el 50% del volumen total de los componentes del suelo. El otro 50% del volumen, lo forman espacios vacíos o poros que se encuentran ocupados por aire, agua o ambos y cuyos contenidos están inversamente relacionados: a mayor contenido de agua en el suelo, menor contenido de aire.

2.6.2 Propiedades Físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes.

Entre las características físicas de los suelos, los siguientes aspectos son determinantes en la eficiencia con que se aplica el agua de riego:

- Textura
- Estructura
- Densidad Aparente
- Densidad Real
- Porosidad

Es de mucha importancia para un buen manejo del riego, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, así como también para comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles.

- **Textura**

La textura en todos los sentidos, es una de las propiedades más importantes del suelo y que incide en muchas otras características o propiedades del mismo. En el riego, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, en el lavado de sales y en el drenaje.

La textura se vincula con las proporciones porcentuales de las agrupaciones por tamaños de los granos individuales en una masa de suelo. Se refiere específicamente a los porcentajes de arcilla, de limo y de arena de menos de 2 mm de diámetro.

Para propósitos de irrigación, los suelos que mejor se comportan son los francos, en vista que los suelos arenosos retienen muy poca agua y aunque lo hacen a tensiones bajas, estos volúmenes resultan insuficientes para los requerimientos hídricos de los cultivos.

Por otra parte los suelos arcillosos acumulan mayor cantidad de agua, pero la retienen con una mayor tensión de humedad, por esta razón la planta necesita un mayor esfuerzo para extraerla del suelo.

Existen muchas escalas granulométricas, pero generalmente dos de ellas son las más usadas: El Sistema Internacional, propuesto por Atterberg, y el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.), que en parte es coincidente con el primero, aunque establece más separaciones.

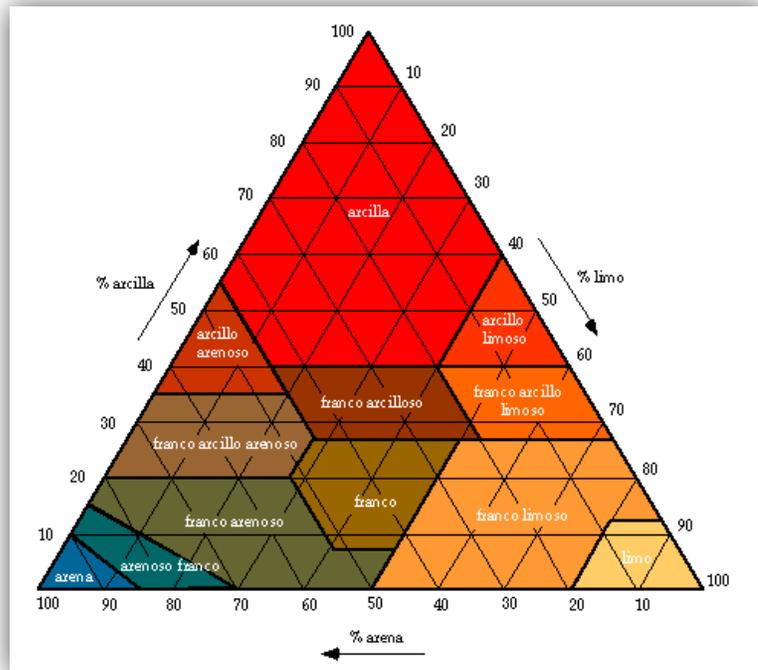
Tabla 8. Textura del suelo y su variación en diámetro

Fracciones	Límite de los diámetros (mm)	
	Sistema USDA	sistema internacional (Atterberg)
Arena muy gruesa	2.0 - 1.0	
Arena gruesa	1.0 - 0.5	2.0 - 0.20
Arena media	0.5 - 0.25	
Arena fina	0.25 - 0.10	0.20 - 0.02
Arena muy fina	0.10 - 0.05	
Limo	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcilla	< 0.002	< 0.002

Fuente: Apuntes de Riego y Drenaje (Universidad Autónoma de San Luís, Potosí)

Rara vez una muestra de suelo estará constituida totalmente por una sola fracción. Por ello, las clases de textura están basadas sobre distintas combinaciones de arena, limo y arcilla. Para determinar el tipo granulométrico o clase textural de un suelo, se utiliza el triángulo de texturas, que sitúa el suelo en un conjunto caracterizado por propiedades texturales. (Ver Figura 6)

Figura.6 Triángulo Textural de Suelos



Fuente: Fundamentos de Edafología (Jorge Núñez Solís)

▪ Estructura

Es la característica de los suelos de poder agrupar y estabilizar las partículas primarias (arenas, limos y arcillas). Este término se refiere a la forma en que las partículas primarias agrupadas forman agregados o terrones por la unión de partículas gruesas que actúan como armazón y partículas finas que sirven como aglomerantes. La estructura afecta la penetración del agua, el drenaje, la aireación y el desarrollo de las raíces, incidiendo así en la productividad del suelo y las facilidades de la labranza.

Los suelos agrícolas generalmente no presentan una estructura definida ya que estos han sido alterados por el uso de implementos de laboreo o cosechas. Los diferentes tipos de estructura más comunes se presentan en el **Anexo 2, pág. iii.**

- **Densidad Aparente**

La densidad aparente (también llamada peso específico aparente) es una medida de la porosidad de un suelo. Se determina dividiendo el peso de suelo seco entre el volumen total, de modo que un mayor valor de densidad aparente significará menor porosidad. Se representa como d_a y se mide en gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3) o en toneladas por metro cúbico (ton/m^3):

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_t} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

D_a = Densidad aparente, [gr / cm^3]

P_{ss} = Peso del suelo seco, [gr]

V_t = Volumen total, [cm^3]

La densidad aparente es importante porque determina la compactación y la facilidad de circulación de agua y aire. A efectos de riego, conocer su valor es esencial porque caracteriza la capacidad de almacenaje de agua en el suelo.

Es necesario saber que su valor no es inmutable, sino que varía según los cambios que se produzcan en el suelo respecto al volumen de poros. Por ejemplo, la compactación por la labranza, o la disminución de materia orgánica disminuyen el volumen de poros e incrementan la densidad aparente.

Los valores de la densidad aparente varían fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

Tabla 9. Densidad aparente del suelo en función de la textura

Textura del suelo	Densidad aparente (gr/cm^3)
Arenoso	1.40 - 1.60
Franco	1.30 - 1.40
Arcilloso	1.10 - 1.30
Suelos Orgánicos	0.70 - 1.10

Fuente: Apuntes de Riego y Drenaje (Universidad Autónoma de San Luís, Potosí)

La determinación de la densidad aparente puede hacerse por diferentes métodos; con muestras alteradas e inalteradas. Entre ellos se pueden mencionar:

Tabla 10. Metodologías para la determinación de la Densidad Aparente del suelo

Metodología	Clasificación
Uso de plástico	Método de Campo
Uso de barreno de volumen conocido	Método de Campo
Uso de cilindro de volumen conocido	Método de Campo
Uso del terrón o parafina	Método de Laboratorio
Uso de petróleo	Método de Laboratorio

Fuente: Apuntes de Riego y Drenaje (Universidad Autónoma de San Luís, Potosí)

▪ **Densidad Real**

Es la densidad de las partículas sólidas del suelo. En otras palabras, es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p). Usualmente se expresa en gr/cm^3 .

$$D_r = \frac{P_{ss}}{V_p} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

$$D_r = \text{Densidad real, [gr / cm}^3\text{]}$$

$$P_{ss} = \text{Peso del suelo seco, [gr]}$$

$$V_p = \text{Volumen de las partículas sólidas, [cm}^3\text{]}$$

La densidad real, varía evidentemente con la proporción de los elementos que constituyen el suelo. Sin embargo, se puede considerar casi constante debido a que varía de 2.60 a 2.75 gr/cm^3 , por ello para el cálculo de la porosidad del suelo, se toma comúnmente un valor promedio de **2.65 gr/cm^3** .

- **Porosidad**

La porosidad se define como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros. El espacio poroso es la porción de suelo que no es parte de las partículas sólidas (minerales u orgánicas), sino que están ocupadas por aire y agua. El arreglo de las partículas sólidas del suelo determina la cantidad de espacio poroso.

Esta propiedad está constituida por la suma de los porcentajes de poros de diferentes tamaños, que actúan de la siguiente manera:

- **Poros Grandes:** Con un diámetro de 0.01 – 0.05 mm. Es la línea de ventilación y conducción para las raíces de las plantas. Abastecen de oxígeno y evacuan CO₂. A través de ellos se percola el agua gravitacional. Favorecen las propiedades de aireación e infiltración.
- **Poros Medios:** Con un diámetro de 0.0002 – 0.01 mm. Su función es almacenar agua y transportarla por capilaridad. Después de secarse el suelo, estos poros son accesibles al aire.
- **Poros Pequeños:** Su diámetro es < 0.0002 mm. Almacenan agua que no está realmente disponible para las raíces de la planta.

La proporción de los tamaños de los poros, está determinada por el tipo de suelo y por el grado de compactación de la estructura.

Un suelo ideal debe tener 50 % de porosidad, con 1/3 de poros grandes y 2/3 de poros medianos. La porosidad mínima que un suelo debe tener, para permitir un buen desarrollo del cultivo es de 35 % en suelo ligeros (Arenosos) y 45 % en suelos pesados (Arcillosos).

La relación de la textura con la porosidad es alta; en suelos arenosos, se tienen poros grandes y continuos, en suelos arcillosos, se tienen poros muy pequeños pero más abundantes, por lo mismo, los suelos arcillosos tienen una mayor porosidad total. En general la porosidad varía dentro de los siguientes límites:

Tabla 11. Rangos de porosidad según el tipo de suelo

Tipo de suelo	Rango de porosidad (%)
Suelos Ligeros	30 – 45
Suelos Medios	45 – 55
Suelos Pesados	50 – 65
Suelos Turbosos	75 – 90

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Porosidad_del_suelo

La porosidad del suelo deriva de la relación entre la densidad real y densidad aparente, se expresa en porcentaje y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_t = \frac{[100 (D_r - D_a)]}{D_r} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde,

P_t : Porosidad Total, [%].

D_r : Densidad Real, [gr / cm³].

D_a : Densidad Aparente, [gr / cm³].

Tabla 12. Rangos de Interpretación de la porosidad para uso agrícola

Porosidad total (%)	Interpretación
< 40	Muy Baja
40 – 45	Baja
45 – 55	Media
55 – 65	Alta
>65	Muy Alta

Fuente: Cairo, 1995

Tabla 13. Clasificación del espacio poroso

Espacio poroso (%)	Descripción
< 25	Muy Reducido
25 – 35	Reducido
36 – 45	Medianamente Reducido
46 – 50	Medio
51 – 55	Medianamente Amplio
56 – 60	Amplio
>60	Muy Amplio

Fuente: Propiedades Físicas del Suelo (Paper)

2.6.3 Propiedades Químicas del suelo

Son características del suelo que pueden influir de gran manera en la irrigación, al afectar las propiedades hidráulicas de éste; por ejemplo, los suelos que tienen un exceso de sales son clasificados como salinos y los que tienen exceso de sodio intercambiable se definen como suelos sódicos. Los primeros tienden a retardar los procesos de germinación y reducir sustancialmente el crecimiento de las plantas debido a la alta presión osmótica que se desarrolla entre la solución agua, suelo y planta. Estas presiones reducen la capacidad de la planta para absorber agua.

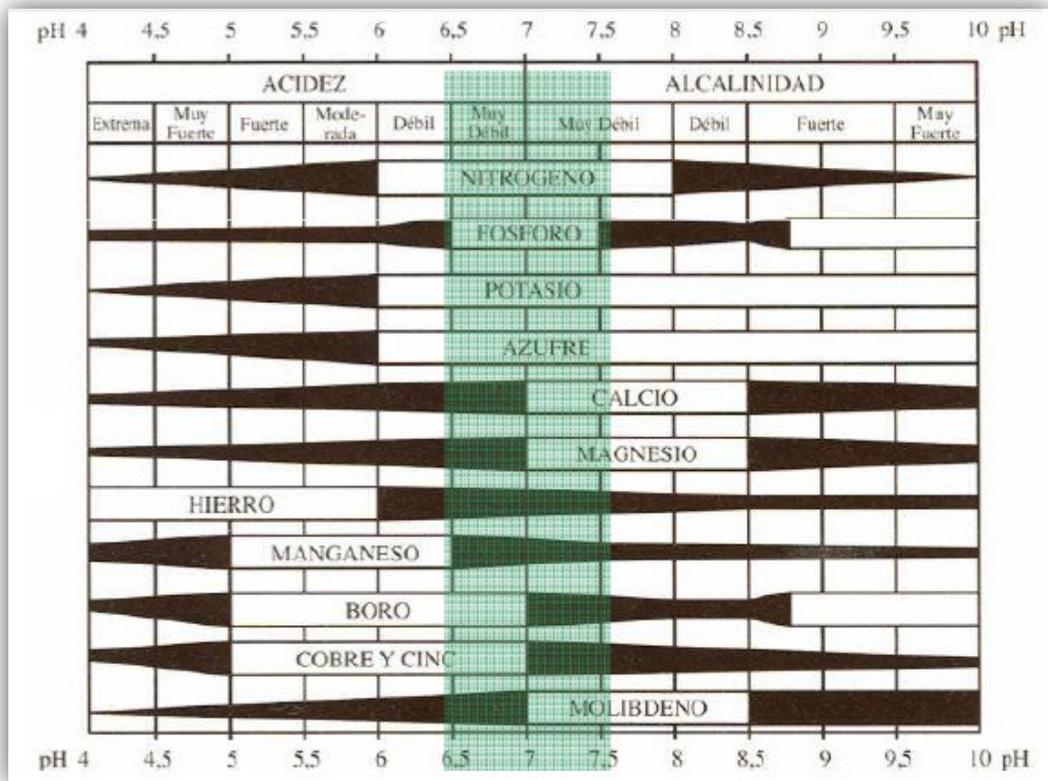
Por otro lado los suelos sódicos tienen estructura muy pobre debido a la propiedad de hincharse y expandirse, lo cual tiende a reducir los espacios porosos y la permeabilidad del suelo.

- **Acidez (pH)**

La acidez o basicidad de los suelos está estrechamente relacionada con los porcentajes de materia orgánica presentes en éste y con la cantidad de compuestos como carbonatos de calcio y otros. La acidez de un suelo puede medirse en campo usando un medidor de acidez de suelo llamado “pH-meter” de cinta, o bien enviando las muestras de suelo a un laboratorio edafológico, este último garantiza mayor precisión en el dato.

Se ha comprobado experimentalmente en función de las nuevas tecnologías de fertilización, que en la actualidad es difícil asignar un intervalo de pH óptimo para cada cultivo. Sin embargo, un buen número de cultivos se pueden desarrollar con altos rendimientos entre el rango de **6.5 – 7.5** de pH.

Figura.7 Disponibilidad de Nutrientes en función del pH del suelo.



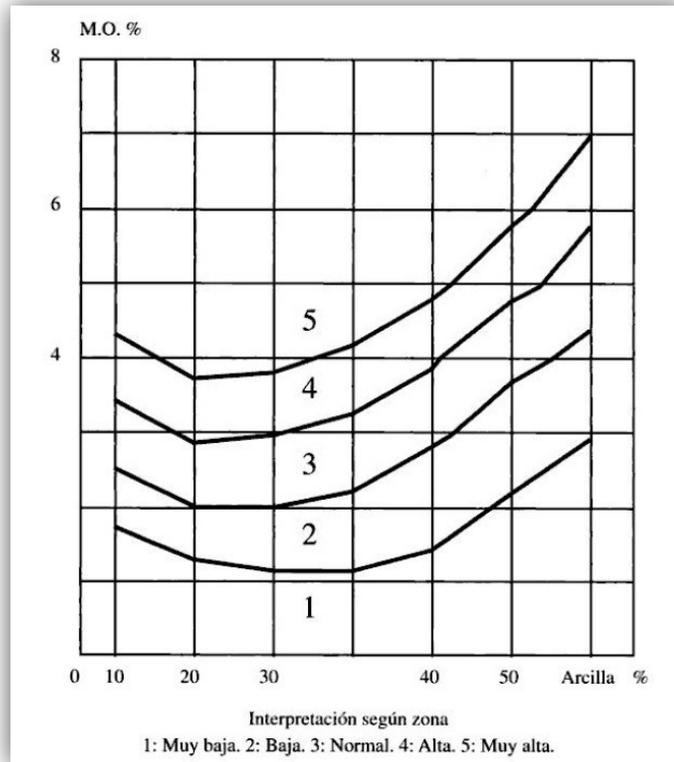
Fuente: Departamento De Agricultura De Los Estados Unidos De Norteamérica (USDA)

- **Materia Orgánica Oxidable**

Es la cantidad de elementos presentes en el suelo producto de la biodegradación de plantas y animales. La cantidad de materia orgánica presente en el suelo es importante para la actividad de irrigación de cultivos agrícolas por que influye en el movimiento del agua en el suelo, además de ser fuente de nutrientes necesaria para el desarrollo de los cultivos.

Los niveles normales de referencia de materia orgánica en función de la textura del suelo se indican a continuación.

Figura.8 Niveles de Referencia de materia Orgánica



Fuente: Junta de Extremadura (1992)

La zona 3 que corresponde a niveles normales de materia orgánica comprende los valores más altos para suelos arenosos y arcillosos, ya que la aplicación de materia orgánica mejora la textura y la permeabilidad en ambos casos.

▪ **Salinidad**

La salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales existentes en él; ésta puede ser estimada por la medición de la conductividad eléctrica (CE) de una solución extraída del suelo. Una sal es un compuesto químico formado por iones con carga negativa, enlazados a iones con carga positiva. Los fertilizantes son sales, por ello, un mal manejo de la fertilización puede ser la causa directa o indirecta de obtener bajos rendimientos en los cultivos.

Los daños directos que causa la salinidad son:

- ✓ Disminución de la absorción del agua por las raíces.
- ✓ Toxicidad por iones específicos

Los daños indirectos de la salinidad son:

- ✓ Interferencia con la absorción de nutrientes esenciales
- ✓ El efecto del sodio en la estructura del suelo

La relación entre los niveles de Conductividad Eléctrica y la clasificación de suelos, según su grado de salinidad se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 14. Suelos Salinos y sus efectos sobre los cultivos

Clase de salinidad	Conductividad eléctrica [mS / cm] *	Efectos
No Salinos	0 – 2	Ninguno
Ligeramente Salinos	2 – 4	Rendimientos restringidos en cultivos sensibles
Medianamente Salinos	4 – 8	Rendimientos restringidos en la mayor parte de cultivos
Fuertemente Salinos	8 – 16	Rendimientos satisfactorios sólo en cultivos tolerantes
Extremadamente Salinos	< 16	Muy pocos cultivos dan rendimientos satisfactorios

* mS / cm = dS / m = 1000 μS / cm

Fuente: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales (Carlos Cadahía)

2.6.4 Propiedades Hídricas del suelo

La caracterización hídrica de los suelos es el estudio de los parámetros que relacionan el suelo y el agua. Este estudio corresponde a la determinación de las características de retención de agua y a sus propiedades de infiltración durante el riego. Una vez determinados estos dos conjuntos de características, es posible tener una visión clara de los problemas de frecuencia de riego, respondiendo a tres preguntas fundamentales, "cuándo", "cómo" y "durante cuánto tiempo" regar.

Además de lo señalado, el conjunto de características hídricas de un suelo, o conjunto de suelos, en una zona determinada permite evaluar y comprender aquellos problemas relacionados con el manejo actual y futuro del agua durante la práctica del riego.

Los principales parámetros hídricos que definen la capacidad de retención de agua de un suelo son:

- Capacidad de Campo
- Límite Productivo
- Punto de Marchitez Permanente
- Humedad disponible o agua aprovechable
- Velocidad de Infiltración

▪ **Capacidad de Campo (CC)**

La capacidad de campo de un suelo representa el contenido de humedad que se alcanza cuando el suelo está completamente humedecido y se deja drenar libremente durante uno o varios días.

Puesto que la gran mayoría de suelos no drenan hasta que tienen retenida una determinada cantidad de agua y luego la mantienen indefinidamente, la definición de capacidad de campo está idealizada y el concepto es más cierto en suelos de textura gruesa.

Dada la existencia de estratos en el suelo que interfieren conjuntamente en el movimiento del agua, así como de posibles niveles freáticos, es conveniente medir in situ este parámetro.

La capacidad de campo corresponde a tensiones de humedad, en la gran mayoría de los suelos, entre 1/3 atm (equivalentes a unos 33 centibares, textura fina) y 0.10 atm (equivalentes a 10 centibares, textura gruesa).

Su medida en condiciones de campo puede realizarse de manera práctica con un “tensiómetro”, por métodos de campo como el “Método Gravimétrico”, por estimaciones como el “Método de Texturas” o por metodologías de Laboratorio como el “Método de la Olla de Presión”.

- **Límite Productivo (LP)**

Se define como el punto que determina el rango de humedad óptimo en la capa activa del suelo para un determinado cultivo que asegura que éste nos de los máximos rendimientos. Éste valor se ha determinado en un punto entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente.

Varios autores han considerado este valor como un **70 % – 80 %** del valor de la Capacidad de Campo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que este es un dato basado en aproximaciones y en ningún momento debe representar para el ingeniero proyectista una realidad imperativa, más bien se deben hacer validaciones al respecto según las condiciones de la zona, utilidades de la empresa, criterios económicos, análisis de rendimientos de los cultivos en función del número de riegos aplicados por campaña, entre otros.

- **Punto de Marchitez Permanente (PMP)**

Se llama Punto de Marchitez Permanente de un suelo, al contenido de humedad bajo el cual se marchita una planta en crecimiento.

Al igual que la capacidad de campo, no es una constante del suelo ni sólo depende de él. No hay un valor único del contenido de agua para el que las plantas dejan de extraerla. Por ejemplo, una planta sometida a una baja demanda evaporativa puede extraer más agua de un suelo que si la demanda es mayor, porque dispone de más tiempo para absorber el agua.

Por el contrario, si las exigencias atmosféricas son más elevadas puede marchitarse temporalmente con un contenido en agua superior al del punto de marchitez.

Por lo tanto hay un intervalo de valores para el PMP en cada suelo, que varía con la planta y las condiciones atmosféricas.

Su valor puede estimarse de dos maneras:

a) A partir de la expresión:

$$PMP = (K) \times (CC) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

PMP = Punto de Marchitez Permanente, [%]

K = Constante en dependencia del tipo de suelo: 0.67 para textura fina, 0.56 para textura media y 0.50 para textura gruesa, [adimensional]

CC = Capacidad de Campo, [%]

b) Asimilándolo al contenido de humedad correspondiente a una tensión de 15 atm.

Cuando la humedad disminuye acercándose al PMP, las plantas se afectan, se obstaculiza su desarrollo y al final disminuye mucho el rendimiento. Por ello, si se desea que las plantas se desarrollen normalmente, se debe tener lo antes mencionado en cuenta y mantener la humedad del suelo muy por encima del PMP.

▪ **Agua Fácilmente Utilizable (AFU)**

También conocida como Agua Útil o Humedad Disponible. Es la capacidad de almacenamiento de agua que tienen los suelos y está determinada por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. El agua disponible no es cien por ciento aprovechable por las plantas y a medida que disminuye la cantidad de humedad en el suelo por efectos de evapotranspiración, el esfuerzo de las raíces es mayor para aprovechar el agua. (**Ver Figura 9**)

Se determina como la diferencia entre el contenido de humedad a Capacidad de Campo y el del Punto de Marchitez Permanente:

$$AFU = CC - PMP \quad (\text{Ec. 11})$$

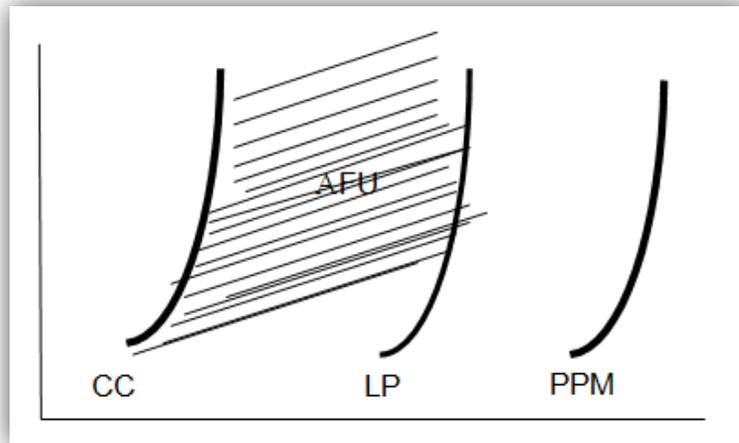
Donde:

AFU = Agua Fácilmente Utilizable, [%]

CC = Capacidad de Campo, [%]

PMP = Punto de Marchitez Permanente, [%]

Figura.9 Relación entre las Constantes Hídricas del suelo



Fuente: Apuntes de Asignatura Principios y Métodos de Riego
UNI-Nicaragua (2009)

Tabla 15. Valores del agua del suelo en función de la clase textural

Textura del suelo	Contenido de humedad (% peso seco)			AU (mm / m)
	CC	PMP	AFU	
Arenosa	6 - 12 (9)*	2 - 6 (4)	5	85
Franco - Arenosa	10 - 18 (14)	4 - 8 (6)	8	120
Franca	18 - 26 (22)	8 - 12 (10)	12	170
Franco - Arcillosa	25 - 31 (27)	11 - 15 (13)	14	190
Arcillo - Limosa	27 - 35 (31)	13 - 17 (15)	16	210
Arcillosa	31 - 39 (35)	15 - 19 (17)	18	230
(*) Valor Medio				

Fuente: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales (Carlos Cadahía)

- **Velocidad de Infiltración (V.I)**

La infiltración es una propiedad física muy importante en relación con el manejo del agua de riego en los suelos.. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/hr o cm/min.

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él, hasta ser aproximadamente constante, la cual es denominada como capacidad de infiltración básica o velocidad de absorción básica, dado en cm/h.

$$IB = k (-600)^n \quad (\text{Ec. 12})$$

Ortiz y Ortiz (1980), mencionan que los factores principales que determinan la magnitud del movimiento del agua por infiltración son:

- ✓ **Textura:** Los porcentajes de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. En un suelo arenoso se favorece la infiltración.
- ✓ **Estructura:** Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltraciones más altas.
- ✓ **Cantidad de materia orgánica:** Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.
- ✓ **Profundidad del suelo a una capa endurecida “hardpan”:** Un lecho rocoso u otras capas impermeables influyen en la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.
- ✓ **Cantidad de agua en el suelo:** En general un suelo mojado tendrá una menor infiltración que un suelo seco.

- ✓ **Temperatura del suelo:** Los suelos calientes permiten mayor infiltración del agua que los suelos fríos.
- ✓ **Cantidad de organismos vivos:** A mayor actividad microbiológica en los suelos habrá una mayor infiltración. Un caso típico es la elaboración de pequeños túneles por las lombrices, los cuales favorecen la infiltración y la penetración de las raíces así como la aireación.

Tabla 16. Clasificación de la magnitud de Infiltración

Clasificación	Magnitud (cm/hr)	Características
Muy Lenta	< 0.25	Suelos con alto contenido de Arcilla
Lenta	0.25 - 1.75	Suelos con alto contenido de Arcilla, bajos en Materia Orgánica o suelos delgados.
Media	1.75 - 2.50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos
Rápida	> 2.50	Suelos Arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación

Fuente: Apuntes de Riego y Drenaje (Universidad Autónoma de San Luís, Potosí)

La determinación de la infiltración puede efectuarse en el campo, o siguiendo algunos de los métodos de laboratorio sobre muestras alteradas y/o inalteradas.

Dentro de los métodos de campo existentes, uno de los más comunes por su facilidad es el método del infiltrómetro de doble cilindro. Otro método es el método de entradas y salidas (en surcos).

- **Ecuación de Kostiakov-Lewis**

Es un modelo empírico que en muchos países es el más común para conocer la velocidad de infiltración en un punto.

$$I = (K)(t)^n \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde,

I: Velocidad de Infiltración, [cm / hr].

K: Parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (cuando $t= 1$),[adimensional].

t: Tiempo,[min].

n: Parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo ($-1.0 < n < 0$),[adimensional].

Para obtener los coeficientes k y n del modelo de Kostiakov-Lewis, se pueden utilizar diversos métodos: el método de regresión lineal simple, el método gráfico o el método de los promedios. Por ser el más preciso, se utiliza más el método de regresión lineal simple.

Linealizando la ecuación y aplicando logaritmos a ambos términos, se obtiene:

$$\mathbf{Log I = Log K + (n) (Log t)}$$

Que corresponde a una ecuación del tipo de una recta:

$$\mathbf{Y = b_0 + (b_1) (X)}$$

Donde,

$$\mathbf{Y = Log I}$$

$$\mathbf{b_0 = Log K}$$

$$\mathbf{b_1 = n}$$

$$\mathbf{X = Log t}$$

Además,

$$\mathbf{Y = Velocidad de Infiltración}$$

$$\mathbf{X = Tiempo}$$

$\mathbf{b_1}$ se calcula como:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

b_0 se calcula como:

$$b_0 = \bar{Y} - (b_1)(\bar{X})$$

Encontrando la media como:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Sabiendo que,

$$b_0 = \text{Log } K$$

$$K = \text{Antilog } b_0$$

y,

$$b_1 = n$$

Finalmente con el modelo obtenido de Kostiakov-Lewis, se puede calcular la velocidad de infiltración en un tiempo determinado y obtenerse valores ajustados.

2.7 CLIMA

▪ Temperatura

La temperatura del aire es uno de los elementos meteorológicos más importantes para determinar el grado de adaptabilidad de algunos cultivos, ya que influye directamente en cada período vegetativo de estos.

En el estudio agroecológico de la región III de Nicaragua, realizado por Eduardo Marín Castillo, se determinó que entre los 12 y 13 grados de Latitud Norte, la temperatura disminuye en relación de 1 °C por cada 120 a 130 metros de elevación del terreno. Además, se elaboró el mapa de zonas climáticas de la región, estableciéndose 5 regímenes de temperatura, cuyos calificativos fueron evaluados de acuerdo a las condiciones locales del país y no a designaciones Internacionales. En el siguiente cuadro se presenta la descripción sinóptica de los regímenes de temperatura nacionales y de la región:

Tabla 17. Regímenes de temperatura de Nicaragua

Símbolo	Calificativo	Rango (°C)	Altitud (m.s.n.m)
1*	Caliente	> 27.0	< 200
2*	Cálido	24.1 - 26.9	200 – 400
3*	Fresco	22.1 - 24.0	400 -700
4	Templado	20.1 - 23.9	600 – 1000
5	Frío	< 20.0	> 1000
* Regímenes identificados en la región			

Fuente: Estudio Agroecológico de la región III y su aplicación al desarrollo agropecuario (Eduardo Marín castillo)

▪ Precipitación Pluvial

La precipitación o la lluvia, es otro de los elementos que más influye en el período de secano, debido a que es una de las fuentes, aparte del riego, que provee a los suelos la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda hídrica de los cultivos, en sus diferentes etapas fenológicas.

Por ello, se han establecido a nivel nacional siete regímenes de precipitación media anual. Las características sinópticas, se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 18. Clasificación de los regímenes de precipitación a nivel nacional

Símbolo	Calificativo	Rango (mm)
A	Per - húmedo	> 4,000
B	Extremadamente húmedo	3,000 - 4,000

C	Muy húmedo	2,000 - 3,000
D*	Húmedo	1,500 - 2,000
E*	Sub - húmedo	1,200 - 1,500
F*	Semi – seco	800 - 1,200
G	Seco	< 800
* Regímenes identificados en la región		

Fuente: Zonas de Vida de Nicaragua (Eduardo Marín castillo)

▪ **Distribución de las llluvias**

El transcurso o distribución de las llluvias durante el año es un factor muy importante y complementario de la precipitación, pues define la presencia o ausencia de periodos caniculares y la duración del periodo lluvioso. La humedad disponible retenida por los suelos determina el periodo real del cultivo y sirve para planificar las rotaciones en que una parcela puede ser utilizada durante la estación lluviosa; es decir, siembra de primera, postrera y apante, o sólo siembra de primera.

Para la ubicación del proyecto, se establecieron cuatro tipos de distribución de llluvias:

- ✓ **Estacional Normal:** Las llluvias se inician generalmente a mediados de Mayo y ocurren de manera normal hasta fines de Octubre, con un descenso de las mismas entre Julio y Agosto, pero que no llegan a causar riesgos en las siembras de primera, ni en las de postrera.
- ✓ **Estacional Regular:** Las llluvias son comúnmente regulares en la primera parte del periodo, pero se interrumpen por un tiempo seco (Canícula) de 15 a 25 días, entre el mes de Julio y Agosto. Generalmente, a partir del 20 de Agosto las llluvias son abundantes y se normalizan en el mes de Octubre. Las siembras de primera presentan un moderado riesgo de ser afectadas por la lluvia y las de postrera son bien seguras generalmente.
- ✓ **Estacional Irregular:** Las llluvias son muy irregulares hasta la entrada de la canícula, que es bien prolongada (25 - 40 días) y luego a fines de

Agosto se normalizan hasta fines de Octubre. Las siembras de primera son muy riesgosas y las de postrera un poco más seguras. Este tipo de lluvias ocurre en las cercanías de Tipitapa.

- ✓ **Estacional Anormal:** Las lluvias son muy irregulares en la primera parte del periodo y la canícula es bien prolongada y severa (más de 40 días). Las siembras son un poco más seguras en la postrera, ocurriendo lo contrario en la siembra de primera. Este tipo de lluvias ocurren en los Brasiles, Costa Norte del Lago y Zona Costera del Pacífico.

Tabla 19. Tipos de distribución de lluvias a nivel nacional

Símbolo	Distribución anual	Duración (meses)	Periodo seco (meses)
A	Permanente	> 10	2.0
B	Semi – permanente	9.0 - 10.0	3.0
C	Prolongada	7.0 - 9.0	5.0
D	Estacional uniforme	6.0 - 7.0	6.0
e*	Estacional normal	6.0	6.0
f*	Estacional regular	6.0	6.0
g*	Estacional irregular	5.5	6.5
h*	Estacional anormal	5.0	7.0
* Identificados en la región			

Fuente: Zonas Climáticas de Nicaragua (Eduardo Marín castillo)

- **Período Canicular**

Los periodos caniculares se manifiestan por una disminución drástica de la precipitación durante el periodo comprendido entre los meses de Julio y Agosto. Durante este periodo se produce un stress hídrico en el suelo que dependiendo del grado de severidad puede afectar en forma leve o total, la capacidad productiva de los cultivos y puede ocurrir en la etapa de crecimiento, floración o llenado, dependiendo de la fecha de siembra utilizada.

Los periodos caniculares fueron clasificados de acuerdo a la duración consecutiva de días secos o con precipitaciones menores de 5 mm, que corresponde al promedio mínimo de evaporación diaria.

Para la región de estudio, se establecieron cuatro clases de periodos caniculares, los cuales se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 20. Clasificación de los periodos caniculares en la región

Símbolo	Tipo de distribución de lluvias	Clase de canícula	Duración (días)	Riesgo climático
E	Estacional normal	Benigna	10.0 - 15.0	Leve
F	Estacional regular	Definida	15.0 - 25.0	Moderado
G	Estacional irregular	Acentuada	25.0 - 40.0	Alto
H	Estacional anormal	Severa	> 40.0	Muy alto

Fuente: Metodología de Zonas Climáticas (Eduardo Marín castillo)

▪ Zonas Climáticas

Las zonas climáticas están definidas por los regímenes de temperatura, los periodos de precipitación y el tipo de distribución de lluvias. En la región en estudio, se identifican seis (6) de las veintitrés (23) zonas climáticas existentes en Nicaragua, las que conforman 5 grandes ecosistemas. Las principales características, se mencionan a continuación:

Tabla 21. Criterios de agrupación de zonas climáticas

Zona climática	Zona de vida	Marco Climático			
		elevación (m.s.n.m)	T.M.A (°c)	P.M.A (mm)	Periodo Canicular
B	Bh – PT	500 - 1,000	22 - 23	1,500 - 1,800	Benigno
C	Bh – PT	400 – 500	23 - 25	1,300 - 1-500	Benigno
F	Bh – S	200 – 400	25 - 26	1,200 - 1,300	Definido
K	Bs – T	< 200	26 - 27	1,100 - 1,200	Definido
G	Bs – T	200 – 500	25 - 27	800 - 1,000	Severo
M	Bs - S - Bs - T	< 200	27 - 29	800 - 1,000	Severo

T.M.A = Temperatura Media Anual ; P.M.A = Precipitación Media Anual
 B = Bosque ; h = Húmedo ; s= Seco ; T = Tropical ; PT = Premontano Tropical ;
 S = Sub – Tropical

Fuente: Zonas de Vida de Nicaragua (Eduardo Marín Castillo)

2.8 EVAPOTRANSPIRACIÓN O USO CONSUNTIVO

La Evapotranspiración o Uso consuntivo, se define como la cantidad de agua usada en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo. Depende en gran parte del agua a disposición, temperatura y humedad del aire, régimen de vientos, intensidad luminosa del sol y estado de desarrollo de la planta.

Existen diversos métodos para determinar la cantidad de agua consumida por las plantas, clasificado en directos e indirectos. Los primeros se valen de sistemas para calcular la evapotranspiración y los segundos calculan la evapotranspiración mediante fórmulas empíricas.

Tabla 22. Principales métodos para el cálculo de la Evapotranspiración

Métodos directos	Métodos indirectos
Lisimétrico	Penman Modificado
	Blaney-Criddle
Uso de estación Agrometeorológica	Radiación
	Tanque Evaporímetro
	Penman - Monteith (FAO)

Fuente: FAO

▪ Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Denominada evapotranspiración de referencia, se simbolizada como ET_o. La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un albedo de 0.23.

La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. La resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ implica un suelo moderadamente seco que recibe riego frecuentemente

La ETo se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Como resultado de una consulta de expertos realizada en Mayo de 1990, el método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento.

2.8.1 Ecuación FAO Penman-Monteith

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos.

El método de FAO Penman-Monteith para estimar ETo, puede ser derivado de la ecuación original de Penman-Monteith y las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial.

$$ETo = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

ETo: Evapotranspiración de referencia, [mm día⁻¹]

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo, [MJ m⁻² día⁻¹]

G: Flujo de calor del suelo, [MJ m⁻² día⁻¹]

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura, [°C]

U₂: Velocidad del viento a 2 m de altura, [m s⁻¹]

e_s: Presión de vapor de saturación, [kPa]

e_a: Presión real de vapor, [kPa]

e_s - e_a: Déficit de presión de vapor, [kPa]

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor, [kPa °C⁻¹]

γ : Constante Psicrométrica, [kPa °C⁻¹]

La evapotranspiración de referencia (ET_o) provee un estándar de comparación mediante el cual:

- ✓ Se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones
- ✓ Se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos.

2.8.1.1 Parámetros Atmosféricos

Se han desarrollado varias metodologías para determinar los parámetros climáticos. El efecto de los principales componentes del tiempo sobre la evapotranspiración se puede determinar con la ayuda de algunas ecuaciones.

Algunas de las metodologías requieren parámetros que expresan una característica específica de la atmósfera. Estas variables se refieren a la presión atmosférica, calor latente de vaporización y la constante psicométrica.

▪ Presión Atmosférica

La presión atmosférica, es la presión ejercida por el peso de la atmosfera terrestre. La evaporación en altitudes elevadas ocurre en parte gracias a la baja presión atmosférica que se expresa con la constante psicométrica. Este efecto es, sin embargo, pequeño y en los procedimientos del cálculo, el valor medio para una localidad es suficiente.

Para calcular este dato, puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C:

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - (0.0065)(Z)}{293} \right]^{5.26} \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde:

P: Presión atmosférica, [kPa]

Z: Elevación sobre el nivel del mar, [m]

- **Calor Latente de Vaporización**

El calor latente de vaporización, λ , expresa la energía requerida para cambiar una masa de unidad de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constantes. El valor del calor latente de vaporización varía en función de la temperatura. Cuanto más elevada sea la temperatura, menos energía será requerida. Como λ varía levemente dentro de rangos de temperaturas normales, se considera un valor constante de **2,45 MJ kg⁻¹** para la simplificación de la ecuación de FAO Penman-Monteith. Este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

- **Constante Psicométrica**

La constante psicométrica, (γ), se calcula por:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = (0.665 \times 10^{-3}) P \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

γ : constante psicométrica, [kPa °C⁻¹]

P : presión atmosférica, [kPa]

λ : calor latente de vaporización, 2.45 [MJ kg⁻¹]

c_p : calor específico a presión constante, 1.013 x 10⁻³, [MJ kg⁻¹ °C⁻¹]

ϵ : cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0.622.

- **Temperatura Media del Aire**

La agrometeorología se ocupa de la temperatura del aire al nivel del cultivo. En estaciones meteorológicas convencionales y automáticas, la temperatura del aire se mide dentro de abrigos meteorológicos (pantallas de Stevenson o casetas ventiladas) a 2 m sobre la superficie, de acuerdo a los estándares de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Debido a la relación no lineal de la humedad con la temperatura, ambas incluidas en la ecuación FAO Penman-Monteith, la presión de vapor para cierto

período se debe calcular como la media entre la presión de vapor bajo la temperatura máxima y la presión de vapor bajo la temperatura mínima del aire en ese periodo.

$$T_{media} = \frac{T_{máx} + T_{mín}}{2} \quad (\text{Ec. 17})$$

La temperatura se expresa en grados centígrados (°C) o Fahrenheit (°F).

▪ **Humedad del Aire**

El vapor de agua es un gas y su presión contribuye a la presión atmosférica total. La cantidad de vapor de agua en el aire se relaciona directamente con la presión parcial ejercida por ese vapor de agua, siendo esta una medida directa del contenido de vapor de agua del aire.

Bajo las unidades estándar del S.I., la presión ya no es expresada en centímetros de agua, milímetros de mercurio, bares, atmósferas, etc., sino en pascales (Pa). En la metodología FAO Penman – Monteith, la presión de vapor se expresa en los kilopascales (kPa = 1 000 Pa).

La presión real de vapor (e_a) es la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire. Cuando el aire no se satura, la presión real de vapor será más baja que la presión de vapor de saturación. La diferencia entre la presión de saturación y la presión real de vapor se llama déficit de presión de vapor o déficit de saturación y es un indicador preciso de la capacidad real evaporativa del aire.

▪ **Presión Media de Vapor de Saturación**

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como:

$$e^o(T) = 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(T)}{T+237.3}\right]$$

Donde:

$e^o (T)$: Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T [kPa]

T : Temperatura del aire [°C]

$\exp [..]$: 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

Debido a la característica no-lineal de la ecuación anterior, la presión media de saturación de vapor para un día, semana, década o mes, debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima media y la presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese período.

$$e_s = \frac{[e^o(T_{m\acute{a}x}) + e^o(T_{m\acute{i}n})]}{2} \quad (\text{Ec. 18})$$

▪ **Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor**

Para el cálculo de evapotranspiración, se requiere el valor de la pendiente relacionada entre la presión de saturación de vapor y la temperatura, Δ . La pendiente de la curva a una temperatura dada se da por:

$$\Delta = \frac{4098 * \left\{ 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(T_{med})}{T_{med} + 237.3}\right]\right\}}{(T_{med} + 237.3)^2} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

Δ : pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa °C-1]

T : temperatura del aire [°C]

$\exp[..]$: 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

Para su aplicación en la ecuación FAO Penman-Monteith, la pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) se calcula usando la temperatura media del aire.

- **Déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$)**

El déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación de vapor (e_s) y la presión real de vapor (e_a) durante un determinado período. Si es pertinente, e_s y e_a para períodos largos también pueden calcularse como los promedios de valores calculados en forma diaria durante el periodo estudiado.

$$e_s - e_a$$

- **Radiación**

La radiación solar puede ser medida con piranómetros, radiómetros o solarímetros. Los instrumentos contienen un sensor instalado en una superficie horizontal que mide la intensidad de la radiación solar total, es decir, la suma de la radiación solar directa y la difusa que ocurre cuando el cielo está cubierto. El sensor es protegido y mantenido en una atmósfera seca usando una bóveda de cristal que se limpia regularmente.

Cuando no se cuenta con piranómetros, la radiación solar puede ser generalmente estimada de la duración de la insolación. La duración real de la insolación (horas sol reales), se mide con un heliógrafo. Este instrumento registra períodos de sol brillante usando un globo de cristal que actúa como lente.

- **Radiación Extraterrestre para períodos diarios (R_a)**

La radiación extraterrestre, para cada día del año y para diversas latitudes se puede estimar a partir de la constante solar, la declinación solar y la época del año:

$$R_a = \left(\frac{24 * 60}{\pi} \right) (G_{sc})(d_r) \{ \omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\omega_s) \}$$

(Ec. 20)

Donde:

R_a : Radiación extraterrestre, [MJ m⁻² día⁻¹]

G_{sc} : Constante solar = 0,082, [$\text{MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$]

d_r : Distancia relativa inversa Tierra-Sol

ω_s : Ángulo de radiación a la puesta del sol, [rad]

φ : Latitud, [rad]

δ : Declinación solar, [rad].

R_a se expresa en $\text{MJ m}^{-2} \text{día}^{-1}$. La evaporación equivalente en mm día^{-1} se obtiene multiplicando R_a por 0.408. La latitud, φ , expresada en radianes es positiva para el hemisferio norte y negativa para el hemisferio sur. La conversión de grados decimales a radianes se da por:

$$[\text{radianes}] = \frac{\pi}{180} [\text{Grados decimales}]$$

La distancia relativa inversa Tierra-Sol d_r , y la declinación solar δ , están dadas por:

$$d_r = 1 + \left\{ 0.033 * \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (J) \right] \right\}$$

$$\delta = 0.409 * \text{sen} \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (J) - 1.39 \right]$$

Donde J es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol, ω_s , se da por:

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)]$$

▪ Duración Máxima de Insolación (N)

La duración máxima de la insolación N , está dada por:

$$N = \left(\frac{24}{\pi} \right) (\omega_s) \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde ω_s es el ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol calculado

- **Radiación Solar (R_s)**

Si no se cuenta con mediciones directas de radiación solar, R_s , esta puede ser calculada a través de la aplicación de la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación:

$$R_s = \left[a_s + (b_s) \left(\frac{n}{N} \right) \right] [R_a] \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

R_s : Radiación solar o de onda corta [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$]

n : Duración real de la insolación [horas],

N : Duración máxima posible de la insolación [horas],

$\frac{n}{N}$: Duración relativa de la insolación [-],

R_a : Radiación extraterrestre [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$],

a_s : Constante de regresión, que expresa la fracción radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados ($n = 0$),

$a_s + (b_s)$: Fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ($n = N$).

En casos en que no se disponga de datos reales de radiación solar y cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de $a_s = 0.25$ y de $b_s = 0.50$.

- **Radiación Neta Solar o de onda corta (R_{ns})**

La radiación neta de onda corta resultante del equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada está dada por:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)(R_s) \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde:

R_{ns} : Radiación neta solar o de onda corta [MJ m⁻² día⁻¹],

α : Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia [adimensional],

R_s : Radiación solar entrante [MJ m⁻² día⁻¹].

▪ **Radiación Neta de onda larga (R_{nl})**

La cantidad de emisión de energía de onda larga es proporcional a la temperatura absoluta de la superficie elevada a la cuarta potencia. Esta relación se expresa cuantitativamente por la ley de Stefan-Boltzmann. Se debe tener en cuenta que el flujo de energía neta que sale de la superficie terrestre es menor que la calculada y dada por la ley de Stefan-Boltzmann debido a la absorción y radiación devuelta del cielo. El vapor de agua, las nubes, el dióxido de carbono y el polvo absorben y emiten radiación de onda larga. Por ello se deben conocer sus concentraciones para determinar el flujo saliente neto.

$$R_{nl} = \left\{ \frac{[T_{(m\acute{a}x), K}]^4 [\sigma] + [T_{(m\acute{i}n), K}]^4 [\sigma]}{2} \right\} \left\{ 0.34 - (0.14)(\sqrt{e_a}) \right\} \left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) - 0.35 \right] \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

R_{nl} : Radiación neta de onda larga [MJ m⁻² día⁻¹],

σ : Constante de Stefan-Boltzmann [4,903 x 10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² día⁻¹],

$T_{(m\acute{a}x), K}$: Temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas [K = °C + 273,16],

$T_{(m\acute{i}n), K}$: Temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas [K = °C + 273,16],

e_a : Presión de vapor real [kPa],

$\frac{R_s}{R_{so}}$: Radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1,0),

R_s : Radiación solar medida o calculada [MJ m⁻² día⁻¹],

R_{so} : Radiación en un día despejado [MJ m⁻² día⁻¹].

El término $(0.34 - 0.14\sqrt{e_a})$ expresa la corrección para la humedad del aire, y será más pequeño con valores más elevados de humedad. El efecto de la nubosidad se expresa por $(1.35 R_s / R_{so} - 0.35)$ y llega a ser más pequeño con mayor nubosidad y por lo tanto R_s disminuye. Cuantos más pequeños son los términos de corrección, más pequeño es el flujo saliente neto de radiación de onda larga.

- **Radiación Neta (R_n)**

La radiación neta, R_n , es la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda cortas y largas. Es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre o la diferencia de la radiación de onda corta entrante neta (R_{ns}) y la radiación de onda larga saliente neta (R_{nl}). La R_n es normalmente positiva durante el día y negativa durante la noche. El valor diario total para R_n es casi siempre positivo para 24 horas, excepto en condiciones extremas de latitudes elevadas.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

R_n : Radiación Neta [MJ m⁻² día⁻¹].

R_{ns} : Radiación Solar Neta [MJ m⁻² día⁻¹].

R_{nl} : Radiación neta de onda larga [MJ m⁻² día⁻¹]

- **Flujo de Calor del suelo ($G_{mes,i}$)**

Cuando el suelo se calienta, el flujo del calor del suelo, G , es positivo. La cantidad de energía requerida para este proceso es sustraída de R_n para estimar la evapotranspiración.

$$G_{mes,i} = 0.07 (T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1}) \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

$T_{mes,i-1}$: Temperatura media del aire en el mes $i - 1$ [°C]

$T_{mes,i+1}$: Temperatura media del aire en el mes $i + 1$ [°C]

- **Velocidad del Viento**

El viento se caracteriza por su dirección y su velocidad. La dirección del viento se refiere a la dirección en la cual el viento está soplando. Para el cómputo de la evapotranspiración, la velocidad del viento es una variable importante. Como este parámetro en una localidad dada varía con el tiempo, es necesario expresarla como el promedio sobre un intervalo determinado de tiempo. La velocidad del viento se mide en metros por segundo (m s^{-1}) o kilómetros por día (km día^{-1}).

Esta variable se mide con los anemómetros, que se componen de cazoletas o propulsores que giran sobre un eje gracias a la fuerza del viento. El conteo del número de revoluciones en un periodo dado, permite determinar la velocidad promedio del viento en dicho período.

- **Relación del viento con la altura (U_2)**

La velocidad del viento a diversas alturas sobre la superficie del suelo tiene valores diferentes. Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere ajustar los datos de velocidad del viento obtenidos de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2 metros; se puede usar una relación logarítmica:

$$U_2 = U_z \left\{ \frac{4.87}{\ln[(67.8)(z) - 5.42]} \right\} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

U_2 : Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m s^{-1}],

U_z : Velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m s^{-1}],

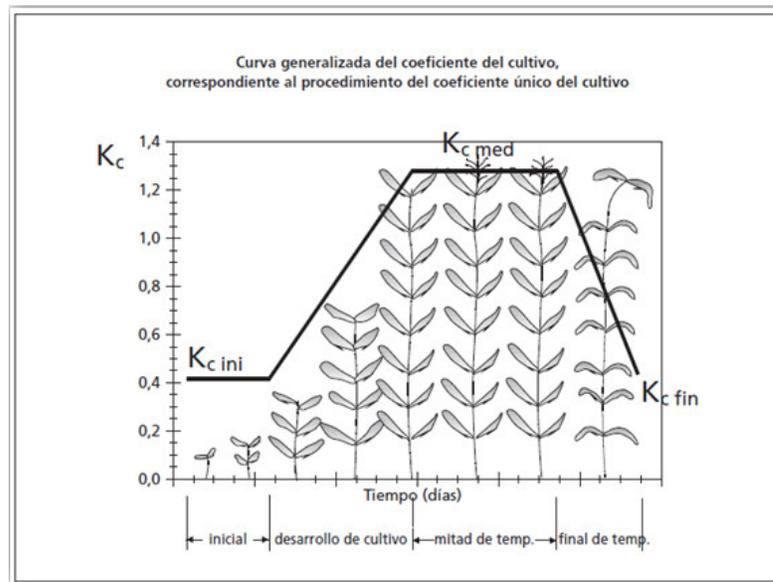
z : Altura de medición sobre la superficie [m].

- **Coefficiente K_c del cultivo**

El coeficiente del cultivo integra los efectos de las características que distinguen a un cultivo típico de campo del pasto de referencia, el cual posee una apariencia uniforme y cubre completamente la superficie del suelo. En consecuencia, distintos cultivos poseerán distintos valores de coeficiente del cultivo. Por otra parte, las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente K_c . Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de K_c .

Debido a las diferencias en evapotranspiración que se presentan durante las distintas etapas de desarrollo del cultivo, el valor de K_c correspondiente a un cultivo determinado, también variará a lo largo del período de crecimiento del mismo. Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada. (Ver Figura 10)

Figura.10 Curva generalizada K_c único del cultivo



Fuente: Estudio FAO, Riego y Drenaje No. 56

- **Evapotranspiración máxima del cultivo**

El agua perdida por las plantas en transpiración, es el costo que estas deben pagar para producir la biomasa (raíces, ramas, hojas y frutos). Esta lámina de agua debe ser repuesta a los tejidos mediante la extracción del suelo por el sistema radicular del cultivo.

Para alcanzar la máxima producción, el contenido de agua en el suelo debe permitir que el cultivo pueda extraer la cantidad de agua que le demanda la atmósfera. Esa cantidad de agua, Transpiración (**T**), unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo (**E**), constituye lo que se conoce como Evapotranspiración Máxima del cultivo (**ETc**), que debe ser satisfecha mediante la lluvia y/o el riego para que la producción del cultivo no se reduzca como consecuencia del déficit hídrico.

Para el cálculo de las necesidades de agua de riego de un cultivo se emplea una expresión en la que la **ETc** se calcula como el producto de dos términos:

$$ETc = ETo \times Kc \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde,

ETc: Evapotranspiración máxima del cultivo, [mm/día]

ETo: Evapotranspiración de referencia, [mm/día]

Kc: Coeficiente del cultivo, [Adimensional]

2.9 DESCRIPCIÓN DEL RIEGO POR GOTEO

El riego por goteo es un sistema que se caracteriza por aplicar el agua en forma lenta, gota a gota, a muy baja presión y en caudales pequeños, cerca del área radicular de la planta por medio de un sistema de mangueras con goteros integrados.

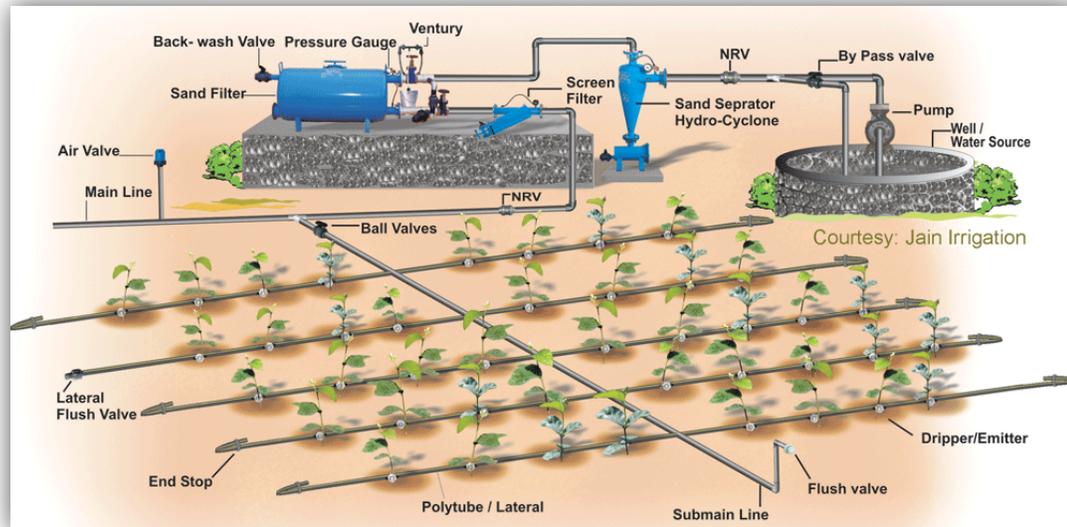
- **Componentes del riego por goteo**

La red de laterales o líneas de emisores habitualmente está colocada en el suelo, pero también existen sistemas de riego por goteo subsuperficiales o enterrados, aunque consideraciones técnicas y económicas favorecen la instalación superficial de las cañerías. Un sistema típico de riego por goteo incluye los siguientes componentes, además del emisor:

- ✓ **La línea lateral**, generalmente de 12 a 32 mm de diámetro y construida en PVC flexible o en una cañería de polietileno. No se usan las líneas de PVC rígido, salvo cuando son enterradas. Los emisores se ubican en espaciamientos predeterminados sobre la línea lateral y están conectados a los laterales por distintas formas. Existen otros tipos de líneas laterales que combinan la función de la línea y el emisor al mismo tiempo.
- ✓ **Líneas distribuidoras**: permiten conectar líneas laterales a ambos lados; pueden ser flexibles si están ubicadas sobre la superficie o rígidas si están enterradas bajo la superficie.
- ✓ **Línea principal**: conecta las líneas distribuidoras a la fuente de agua. Puede estar construida de diversos materiales, como PVC, acero inoxidable, polietileno, etc.
- **Cabezal de control**: se ubica generalmente al lado de la fuente de agua. Está constituida por los instrumentos de medición de agua: válvulas, inyectoros, controles automáticos, controles de presión y filtros necesarios para facilitar la operación del riego por goteo.

Generalmente se colocan a la entrada de las líneas laterales controles adicionales de presión y filtros secundarios, que constituyen una precaución de seguridad, diseñada para remover materiales extraños del agua y para proveer controles adicionales de presión dentro del sistema

Figura.11 Componentes del riego por goteo



Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Riego_por_goteo

- **Pérdidas de agua**

Las pérdidas en los sistemas de riego por goteo se consideran despreciables ya que es un diseño presurizado en el que no hay partes móviles donde se realicen desmontes de algún tipo. Las pérdidas que pueden generarse son desde el punto de vista operacional por parte de quien manipule el sistema.

En el riego por goteo las pérdidas directas por evaporación se llevan a un mínimo, no existe movimiento de gotas de agua a través del aire, no hay un mojamiento del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo fuera de la que es mojada al lado del gotero o emisor; además, el riego por goteo limita el crecimiento de las malezas y, por ende, el consumo no beneficioso del agua por parte de estas.

Un sistema de riego por goteo bien diseñado y bien manejado no produce pérdidas por escurrimiento superficial. Por otra parte se puede regar toda un área hasta los bordes, sin que queden zonas mojadas fuera del área plantada o

zonas sin mojarse. También puede lograrse un ahorro de agua, ya que es posible aplicar láminas muy precisas durante cada riego.

- **Caudal del sistema**

Todo sistema de riego tiene su fuente de abastecimiento, en la que su caudal puede medirse directamente en campo a la salida de la unidad de bombeo, por medio de metodologías volumétricas o usando tubos que llevan incorporados piezómetros.

Por otra parte, la determinación del caudal de goteros, se puede medir de dos formas: tomando el tiempo en un volumen conocido o bien fijando un tiempo y determinando el volumen recibido en ese tiempo.

- **Espaciamiento entre goteros y laterales**

El espaciamiento entre goteros y laterales en el sistema de riego por goteo está directamente relacionado con el tipo de cultivo y el marco de plantación que este tenga, ya que en el riego localizado, el agua llega directamente a la zona de concentración radicular de la planta.

Por otra parte, por razones de permeabilidad e infiltración, el espaciamiento entre emisores o goteros es menor en suelos arenosos que arcillosos; por ello es importante conocer características del suelo como textura, estructura y consistencia, antes de definir las líneas de goteo y frecuencia de goteros.

- **Tiempo de riego**

Es el tiempo necesario de operación del sistema para aportar el agua requerida en función de las necesidades diarias de la planta. Para su determinación, se toman en cuenta parámetros como: necesidades brutas de riego, distancia entre emisores, distancias entre laterales y caudal de los emisores.

- **Frecuencia de riego**

Se refiere a la cantidad de veces por día o por semana que se necesita regar y esto varia de un lugar geográfico a otro, la época del año, el grado de exposición al sol, tipo de suelo y etapa del cultivo.

Es decir, es el lapso de tiempo que transcurre entre dos riegos sucesivos, representando el tiempo que toma el cultivo para consumir el agua de reposición.

2.10 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Una premisa indispensable para la utilización óptima de cualquier sistema de riego es un conocimiento profundo del mismo, basado en el contraste del equipamiento. Por tanto, el paso previo para el conocimiento de cualquier instalación debe ser la evaluación de las prestaciones y las características hidráulicas del sistema, con el fin de establecer las medidas necesarias para mejorarla, si es necesario.

La evaluación de un sistema de riego, permite determinar la manera cómo se está aplicando el riego. En ocasiones, es suficiente el señalamiento cualitativo de una buena, regular o mala aplicación del riego. Sin embargo, en la mayoría de los casos, se hace necesario tener parámetros cuantitativos que proporcionen una escala y permitan pronosticar posibles problemas en algún elemento del cabezal, en la tubería o en los emisores.

El riego localizado requiere una aplicación exacta del agua, en lo que respecta a frecuencia y cantidad de la misma. Por ello existen distintos parámetros que definen esta exactitud, por ejemplo los Coeficientes de Uniformidad (CU), son parámetros que se utilizan para definir cuantitativamente la forma de aplicación del agua de riego.

- **Coeficientes de uniformidad**

Son parámetros que nos indican el grado de igualdad de dosis de agua entregada por los emisores del sistema. Sus valores indican el porcentaje de emisores que están entregando al suelo un promedio de agua asumida en el

diseño y que resulta ser la necesaria por la planta. En el sistema de riego localizado el coeficiente de uniformidad se estima en valores superiores al 90%.

Su determinación resulta ser en campo, mediante procedimientos validados técnicamente. La presión de operación y caudal de los goteros debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante. La presión de trabajo debe compensar las pérdidas de carga que ocurren a lo largo de los componentes del sistema y los efectos de la elevación del terreno.

- **Coeficiente de Uniformidad de Caudales (CU_q)**

La forma adecuada y más sencilla de determinar la uniformidad de distribución del agua en los sistemas de riego presurizados, es mediante el cálculo del coeficiente de uniformidad sugerido por CHRISTIANSEN para riego por aspersión; no obstante, para el caso de riego localizado, el criterio se vuelve más selectivo debido a que la uniformidad es más restrictiva. Varios autores han trabajado al respecto, siendo el más aceptado el coeficiente establecido en 1978 por MERRIAM Y KÉLLER. De esta forma, la expresión de coeficiente de uniformidad de caudales viene dada por:

$$CU_q = \left(\frac{\bar{q}_{25\ m}}{\bar{q}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

CU_q : Coeficiente de uniformidad de caudales, [%].

$\bar{q}_{25\ m}$: Caudal medio de la cuarta parte de emisores que entregan menor caudal, [l/h].

\bar{q} : Caudal medio de todos los emisores, [l/h].

El criterio orientativo para la interpretación de los valores del Coeficiente de Uniformidad, recomendados por el I.R.Y.D.A (Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario de España), para instalaciones de topografía sensiblemente llana es el descrito en la **Tabla 23**.

- **Coefficiente de Uniformidad de Presiones (Cup)**

La falta de uniformidad de una instalación de riego localizado tiene diversos orígenes:

- a) Irregularidad propia de los emisores (CV de Fabricación)
- b) Irregularidad de las presiones
- c) Obturaciones de los emisores

Por lo antes descrito, es necesario establecer procedimientos para poder determinar cuáles son los factores que tienen mayor influencia en la falta de uniformidad, con el fin de recomendar las medidas oportunas para su corrección.

BLIESNER (1976), propone la utilización del Coeficiente de Uniformidad debido a presiones, el cual, a diferencia del Coeficiente de Uniformidad de caudales, toma en cuenta el exponente de descarga “x” del emisor evaluado.

$$CU_p = \left(\frac{\bar{p}_{25m}}{\bar{p}} \right)^x * 100 \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

CU_p : Coeficiente de uniformidad de presiones, [%].

\bar{p}_{25m} : Presión media de la cuarta parte de los valores menores de presión en los emisores, [PSI].

\bar{p} : Presión media de todos los emisores, [PSI].

x : Exponente de descarga de los emisores, dato de fábrica [adimensional].

Habiéndose tomado las presiones en los mismos emisores en los que se ha llevado a cabo el control de caudales.

Si no se conoce el valor exacto del exponente de descarga, pueden tomarse como referencia los siguientes coeficientes, $x = 1$ para emisores de flujo laminar y $x = 0.5$ para los de flujo turbulento.

Tabla 23. Criterio de clasificación del coeficiente de uniformidad de caudales y presiones

Clasificación	Coefficiente de uniformidad
Excelente	> 94%
Buena	86% - 94%
Aceptable	80% - 86%
Pobre	70% - 80%
Inaceptable	< 70%

Fuente: "Evaluación de sistemas de riego localizado". Pedro J Ferrer

Para instalaciones en pendiente, los valores del Coeficiente de Uniformidad pueden disminuirse en un 2%.

- **Coeficiente de variación total de caudales y presiones**

BRALTS Y KESNER (1983), proponen calcular para el diagnóstico del equipo de riego en funcionamiento, el coeficiente de variación total de caudales y presiones (CV_t) utilizando la metodología de campo llevada a cabo por Merriam y Keller. Este método se basa en coeficientes de variación estadísticos, para discernir entre problemas de origen hidráulico y complicaciones propias de los emisores. Los coeficientes se calculan según las siguientes ecuaciones:

$$CV_q = \left(\frac{\sigma_q}{\bar{q}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

CV_q : Coeficiente de variación de caudales, [%].

σ_q : Desviación típica de los caudales, [l/h].

\bar{q} : Caudal medio de todos los emisores, [l/h].

$$CV_p = \left(\frac{\sigma_p}{\bar{p}} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

CV_p : Coeficiente de variación de presiones, [%].

σ_p : Desviación típica de las presiones, [PSI].

\bar{p} : Presión media de todos los emisores, [PSI].

Tabla 24. Criterio de clasificación del coeficiente de variación total para caudales y presiones

Clasificación	Valor del CVt
Excelente	< 10%
Buena	10% - 20%
Aceptable	20% - 30%
Pobre	30% - 40%
Inaceptable	> 40%

Fuente: "Evaluación de sistemas de riego localizado". Pedro J Ferrer

- **Coeficiente de variación debido a emisores**

$$CV_e = \sqrt{(CVq)^2 - (x^2 * CVp^2)} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

CV_e : Coeficiente de variación debido a emisores, [%].

CV_q : Coeficiente de variación de caudales, [%].

x : Exponente de descarga de los emisores, dato de fábrica [adimensional].

CV_p : Coeficiente de variación de presiones, [%].

Tabla 25. Criterio de clasificación del coeficiente de variación debido a emisores (CVe)

Clasificación	Valor del CVe
Sin problemas de fábrica	< 20 %
Falta de uniformidad debida a obstrucciones	> 20%
Falta de uniformidad debida a aspectos hidráulicos (Diseño inadecuado y falta de regulación de presión).	CVe < 20% y CVq > 30%

Fuente: "Evaluación de Sistemas de Riego Localizado". Pedro J Ferrer

- **Coeficiente de Uniformidad del Sistema**

El caudal medio de una subunidad puede diferir bastante del caudal medio de otra subunidad, aunque ambas tengan un Coeficiente de Uniformidad similar. Para ello basta con que estén sometidas a presiones diferentes, lo cual no es extraño encontrar en la operación del sistema.

Por lo antes descrito, es necesario establecer un procedimiento para poder determinar el Coeficiente de Uniformidad de todo el sistema o instalación, de manera que estén relacionadas todas las subunidades. Una manera podría ser el determinar el Coeficiente de Uniformidad de todas las subunidades pero, dado el tiempo que habría que invertir, no sería práctico.

Otro procedimiento, propuesto por MERRIAM Y KELLER (1987), se basa en la relación entre caudales y presiones ($q = k h^x$), controlándose caudales en una subunidad y presiones en el resto e intentando conseguir un factor de corrección que relacione el Coeficiente de Uniformidad de la subunidad muestreada con el Coeficiente de Uniformidad del sistema, lo cual hace más operativo el método.

$$C.U._{SISTEMA} = f_c * C.U._{SUBUNIDAD} \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

$C.U_{SISTEMA}$: Coeficiente de Uniformidad del sistema, [%].

f_c : Factor de corrección, [adimensional].

$C.U_{SUBUNIDAD}$: Coeficiente de Uniformidad de Caudales de una subunidad, [%].

HANDLEY Y COL. (1983), definen el factor de corrección como:

$$f_c = \left(\frac{\bar{p}_{25\ ms}}{\bar{p}_{ms}} \right)^x \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

f_c : Factor de corrección, [adimensional].

$\bar{p}_{25\ ms}$: Media del 25% de los valores menores de presión en el lateral de las subunidades, [PSI].

\bar{p}_{ms} : Media del valor mínimo de la presión al inicio del lateral en cada subunidad o sector de riego, [PSI].

x : Exponente de descarga de los emisores $q = k h^x$, dato de fábrica [adimensional].

Para calcular **f_c** hay que medir la presión en el origen de los laterales de cada subunidad y anotar el más bajo de cada una. Teniendo en cuenta la distribución de presiones no será necesario realizar la medida en todos los laterales, sino solamente en los correspondientes a la previsible zona de menor presión.

2.11 EFICIENCIAS DE RIEGO

La eficiencia en el uso del agua de riego, se integra a partir de la determinación de tres subcomponentes, que incluye las pérdidas de éste recurso desde su aplicación, uniformidad y almacenamiento en el suelo.

Aun cuando los sistemas de riego por goteo alcanzan eficiencias teóricas del orden del 90% al 95%, en la práctica un mal manejo del riego puede ocasionar una disminución relevante en el desempeño del sistema, con pérdidas de agua de diversa naturaleza. En general, la eficiencia con que los agricultores aplican el agua de riego depende de dos factores: el manejo del agua durante el riego, y las características hidrofísicas del suelo que se está regando.

- ✓ **Eficiencia de Aplicación:** Determina la fracción de agua no retenida en la zona radicular, en relación al agua aplicada en el perfil de suelo.
- ✓ **Eficiencia de almacenamiento:** Determina la fracción de agua aplicada, almacenada en el suelo, en relación a la necesaria, para llevar a capacidad de campo el perfil de suelo.
- ✓ **Eficiencia de Uniformidad:** Evalúa el grado de uniformidad de la lámina de riego aplicada en terreno.

- **Eficiencia de Aplicación**

La eficiencia de aplicación es la relación entre la lámina de agua que es necesario reponer en la zona de raíces y la lámina total de agua aplicada al terreno que queda retenida en la zona radicular del cultivo después de una jornada de riego y está determinada por las siguientes expresiones:

a) Si $L_a > L_e$

$$E_{ap} = \left(\frac{L_e}{L_a} \right) * 100$$

b) Si $L_a < L_e$

$$E_{ap} = \frac{1}{\left(\frac{L_e}{L_a} \right)} * 100 \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

E_{ap} : Eficiencia de aplicación, [%].

L_e : Lámina de agua evapotranspirada en un día (ETp), [mm/día].

L_a : Lámina de agua aplicada en una jornada de riego, [mm/día].

▪ **Eficiencia de Almacenamiento**

Se define como la relación entre el agua almacenada en el perfil por efecto del riego, y el agua necesaria para llevar dicho perfil a Capacidad de Campo en toda la profundidad de arraigamiento del cultivo, lo cual se puede determinar de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{al} = \left(\frac{L_a}{L_e} \right) * 100 \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

E_{al} : Eficiencia de almacenamiento, [%].

L_a : Lámina de agua aplicada en una jornada de riego, [mm/día].

L_e : Lámina de agua evapotranspirada en un día (ETp), [mm/día].

Para un suelo con una Velocidad de Infiltración determinada, la lámina de agua almacenada en su perfil, dependerá del tiempo de riego. La lámina necesaria para llevar el perfil hasta la profundidad de arraigamiento del cultivo, a un contenido de agua equivalente a Capacidad de Campo (CC), depende también del contenido de agua del suelo antes del riego.

Una eficiencia de almacenamiento del 100% no necesariamente indica un riego adecuado, ya que es posible llevar el perfil del suelo hasta Capacidad de Campo, pero con una pérdida por percolación profunda.

- **Eficiencia de Uniformidad**

Se define como la relación entre caudales y presiones a lo largo del campo regado.

- **Eficiencia de Riego del sistema**

En términos de sus componentes, la eficiencia de riego puede definirse como la resultante del promedio de tres subaspectos: Eficiencia de Aplicación, Eficiencia de Almacenamiento y Eficiencia de Uniformidad. El promedio de estas tres eficiencias, determina la eficiencia agronómica o de riego del sistema, cuyo valor debe optimizarse en condiciones de secano. La ecuación que la define es la siguiente:

$$E_R = \frac{E_{ap} + E_{al} + E_u}{3} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

E_{ap} : Eficiencia de aplicación, [%].

E_{al} : Eficiencia de almacenamiento, [%].

E_u : Eficiencia de uniformidad.

Tabla 26. Criterio de clasificación de la eficiencia de riego según el método

Método de riego	Eficiencia de riego (%)
Tendido	30
Surcos	45
Californiano	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Fuente: “Boletín INIA, No 190”.

CAPITULO III - METODOLOGIA

La metodología utilizada en el presente estudio es descriptiva, de acorde a cada procedimiento realizado en campo mediante pruebas y actividades específicas, utilizando diversos materiales y como herramientas, así como también diversos programas de computación que permitieron el cálculo y obtención de muchos de los datos recopilados en este estudio. A continuación se detallan tales procedimientos de trabajo realizado para la evaluación del sistema de riego.

3.1 UBICACIÓN

▪ Macrolocalización

El departamento de Managua se encuentra ubicado al suroeste de Nicaragua, entre los 11° 45' y 12° 40' de latitud Norte y los 85° 50' a 86° 35' de longitud Oeste.

Limita al Norte con los departamentos de Matagalpa y León, al Sur con el Océano Pacífico y Carazo, al Este con Boaco, Granada y Masaya y al Oeste con el departamento de León.

Se encuentra a una altitud media de 55 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).

Figura.12 Macrolocalización



Fuente: Propia.

- **Microlocalización**

La finca el Rodeo, propiedad del grupo FRUTNCSA se encuentra ubicada en el kilómetro 39 de la carretera Panamericana Norte, contiguo al empalme Hacienda San Jacinto, a una altitud promedio de 75 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar).

Desde el punto de vista político-administrativo, la propiedad es parte del municipio de Tipitapa, jurisdicción del departamento de Managua.

Su posición geográfica se enmarca dentro de las coordenadas 12° 20' y 12° 21' de latitud Norte y los 86° 03' a 86° 04' de longitud Oeste.

Figura.13 Microlocalización



Fuente: Propia.

- **Vías de Acceso**

El Lote "D" de la finca El Rodeo está ubicada en el costado Sureste de la misma. Se llega a través de la Carretera Panamericana, tomando como referencia la estatua de concreto de Andrés Castro, que indica el desvío al Museo Histórico Hacienda San Jacinto. Desde el monumento, a 1 Km en dirección hacia el empalme de San Benito, se encuentra el portón de entrada de la finca.

Figura.14 Vías de Acceso



Fuente: Propia.

- **Georreferenciación del área de evaluación**

La Georreferenciación, es un concepto que se refiere al posicionamiento con el que se define la localización de un objeto espacial (representado mediante punto, vector, área, volumen) en un sistema de coordenadas y dátum determinado. Este proceso es utilizado frecuentemente en los Sistemas de Información Geográfica.

Materiales y equipos:

1. GPS Marca: Trimble, Modelo: Pro XH
2. Estación Base 5700
3. Software especializado: Arc GIS, Google Earth
4. Estacas de madera
5. Mazo de 25 lbs

Procedimiento de campo

1. Se realizaron lecturas de coordenadas haciendo uso del GPS en varios puntos ubicados en los extremos representativos del sector de riego y de las válvulas que conforman el sistema.
2. Para efectos de precisión, se hizo la corrección de datos levantados, haciendo uso de la estación base ubicada en Sagsa-Disagro, la cual tiene un radio de cobertura de 200 Km y logra una precisión con un margen de error de 6 cm.
3. Por último, se procedió a descargar los datos en el programa ArcGis, para su edición y exportación a Google Earth, en donde se plasmó la ubicación exacta del lote mediante coordenadas.

3.2 BULBO HÚMEDO Y MASA RADICULAR

Esto representó esquemáticamente el patrón de humedad establecido por los goteros así como el comportamiento y desarrollo de las raíces para un caudal promedio aplicado de **1.36 l/día** (Promedio del caudal real de trabajo), con un tiempo de operación asignado de 2 horas de riego. Sus mediciones se realizaron en dirección al lateral (surco) y en sentido transversal al mismo.

Materiales y equipos

- 1) Cintas métricas
- 2) Cámara fotográfica
- 3) Machetes
- 4) Piocha
- 5) Pala
- 6) Varillas graduadas

Procedimiento de campo

Consistió en realizar calicatas justamente a la orilla de plantas seleccionadas aleatoriamente que permitieran visualizar el patrón de humedad y comportamiento radicular establecido en el suelo, haciendo mediciones con cinta en dos ejes, donde para tales efectos se esquematizó en campo una cuadrícula equidistante a 10 centímetros donde se ubicaron las líneas extremas de patrones de humedad del bulbo y desarrollo de raíces. **(Ver anexo 4)**

3.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Esta prueba consistió en el muestreo del agua de riego utilizada para conocer sus características físico - químicas tales como pH, cantidad de sólidos en suspensión, sales presentes, entre otras, a fin de cuantificar las necesidades de filtración en el sistema de riego y la forma en que esta afecta al suelo, al sistema de riego y al cultivo.

Materiales y equipos

1. Recipiente plástico esterilizado, con tapa (1 gln, botella ½ lt)
2. Cinta adhesiva
3. Marcador de alcohol

Procedimiento de campo

Se puso en funcionamiento la estación de bombeo, esperando al menos 5 minutos para que el flujo de agua se estabilizara. Posteriormente se tomaron las respectivas muestras en envases nuevos estériles previamente rotulados, para su envío inmediato al laboratorio en el que se hicieron los análisis (Laboratorio de aguas CIRA/UNAN.). Fue necesario llevar las muestras al laboratorio en un termo con hielo.

3.4 CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

▪ Muestreo de suelos

Materiales y equipos

1. Macana o Coba
2. Piocha
3. Pala
4. Bolsas Plásticas para muestras de suelo
5. Cuchara de albañilería

Procedimiento de campo

Estas pruebas se realizaron en dos etapas, la primera consistió en una clasificación visual y de palpación directa del suelo en seco y húmedo, para diferenciar los tipos de suelos representativos existentes en el lote evaluado.

Posteriormente, mediante la construcción de calicatas de 0.60 x 0.60 x 1.0 metros de largo, se tomaron muestras en los primeros 30 cm de profundidad a

manera de terrones de tamaño considerable, para su envío en bolsas herméticas hacia un laboratorio certificado por el país.

▪ **Porcentajes de humedad del suelo**

Consistió en la determinación del contenido de agua en muestras de suelo de las clases texturales predominantes del lote, mediante su desecación al horno o método gravimétrico.

El objetivo de esta prueba fue determinar la humedad del suelo a Capacidad de Campo (CC), a Punto de Marchitez Permanente (PMP) y a Límite Productivo (LP), así como también conocer el porcentaje de Agua Fácilmente Utilizable para el cultivo (AFU), operando en condiciones reales.

Materiales y equipos

1. Horno con temperatura constante (110 °C)
2. Recipientes herméticos para muestras
3. Juego de taras (Porcelana o Aluminio)
4. Macana o Caba
5. Piocha
6. Pala
7. Recipiente con agua para humedecer el suelo
8. Plástico Negro o Mulcht
9. Barreno
10. Balanza de 0.1 gr de sensibilidad

Procedimiento de campo

1. Este método se realizó “in situ”, preparando cuadros de terreno de 1 x 1 m en cada tipo de suelo, bordeado con un camellón de 30 cm de altura. Luego se humedeció el perfil mediante la aplicación de una lámina de agua de 20 a 30 cm. Una vez vertida el agua se dejó infiltrar y se cubrió el lugar con plástico negro para evitar pérdidas de humedad por efectos de evaporación.

2. Posteriormente, se procedió a mojar la periferia del cuadro a fin de evitar los errores en la determinación de resultados, producto del movimiento horizontal del agua. A partir del momento en que el agua terminó de infiltrarse, se inició la recolección de muestras de suelos en los espesores humedecidos, efectuando las determinaciones de humedad a intervalos de 24 horas por ser suelos pesados (Arcillosos, Arcillo - Limosos). Para el muestreo se utilizó un barreno y recipientes herméticos donde fueron depositadas las muestras para llevarlas a laboratorio.
3. Se obtuvieron muestras de humedad a profundidades de 0-15; 15-30; 30-45 cm. La segunda recolección de muestras se realizó 24 horas después de la primera y así sucesivamente por 4 días hasta que los valores de humedad no presentaron diferencias sustantivas respecto a las del día anterior.
4. Tomadas las muestras, se pesaron y secaron al horno a 110° C, hasta que el peso era constante. La diferencia de peso entre húmedo y seco determinó el contenido de agua, el cual se calculó como porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco.

▪ **Velocidad de Infiltración del Suelo**

El objetivo de esta prueba fue medir la velocidad de Infiltración en cada uno de los intervalos propuestos, así como también conocer el tiempo que tarda cada tipo de suelo en llegar hasta Infiltración Básica.

Materiales y equipos

1. Cilindros infiltrómetros (3 juegos)
2. Mazo de madera de 25 lbs.
3. Tabla de madera 75 x 75 x 4 cm
4. Cronómetro

5. Barriles (3)
6. Baldes de 5 gal (3)
7. Regla graduada de 300 mm
8. Cinta métrica (30 m)
9. Lápiz para marcar en hierro o tiza (3)
10. Hoja de campo para ingresar información

Procedimiento de campo

1. Se eligieron los lugares de suelos representativos del área en estudio.
2. Se llevó el agua al lugar previamente seleccionado.
3. Se distribuyeron los cilindros, de tal manera que formaran un triángulo equilátero con una longitud de vértice de 15 m.

Para la colocación de los cilindros, se realizó lo siguiente:

4. Se limpió la superficie del suelo sin cambiar su estructura. Esto se hizo en los puntos seleccionados.
5. Al centro de los 3 cilindros grandes, se colocaron los 3 cilindros pequeños y se profundizaron a 15 cm, utilizando para ello la tabla de madera y el mazo.
6. Una vez colocados, se cubrió con plástico la corona circular del suelo entre los dos cilindros, como también el círculo del suelo que delimita el cilindro menor, para evitar que al inicio de la prueba el golpe del agua al llenar el cilindro alterara la estructura del suelo.

Para el llenado de los cilindros se procedió de la siguiente manera:

7. La regla graduada se colocó en el borde superior del cilindro interno con el "0" de la numeración (hacia abajo), en el borde de este.
8. Luego se inició la prueba vertiendo agua en el anillo. Al mismo tiempo, se añadió agua al espacio comprendido entre los dos cilindros, a la misma altura.

9. Por último se midieron los descensos de agua en los cilindros en la unidad de tiempo.
10. En algunos cilindros fue necesario rellenar para continuar la prueba, dado que la altura de agua estaba cercana a los 5 cm de la superficie del suelo (límite recomendado para el relleno), anotando a la vez la hora y altura de agua alcanzada.

- **Evapotranspiración de la zona de estudio**

Para calcular este importante dato se utilizó la ecuación de FAO-PENMAN-MONTEITH MODIFICADA. Esta ecuación relaciona los parámetros climáticos de la zona evaluada y da como resultado un valor más ajustado a las condiciones reales del sitio.

Para simplificar el cálculo de los datos de evapotranspiración de referencia (ET_o) y evapotranspiración máxima del cultivo (ET_c), se diseñó una hoja de cálculo en la herramienta de trabajo Microsoft Excel. Se realizaron los cálculos para todos los meses del año, aunque para efectos de este trabajo se tomaron en cuenta solamente los meses de Febrero, Marzo y Abril correspondientes al periodo de secano nacional.

3.5 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA

- **Coeficientes de uniformidad y eficiencias del sistema**

- **Materiales y equipos**

1. Probeta de 50 a 100 ml
2. Cronómetro
3. Recipientes recolectores
4. Manómetro de Glicerina
5. Hoja de campo para ingresar datos

Procedimiento de campo

1. Para la selección del sitio de evaluación, se eligieron las subunidades (válvulas) representativas del sistema, tomando como criterio las condiciones más críticas de operación ya sea por distancia de la bomba o topografía. En este estudio se escogieron 5 subunidades de un total de 26 del sistema.
2. En cada válvula seleccionada se escogieron cuatro laterales dispuestos sobre la tubería terciaria al inicio, a 1/3, 2/3 y al final de esta; de igual manera se tomaron cuatro emisores distribuidos al inicio, 1/3, 2/3 y al final de cada lateral de riego elegido. De esta manera se seleccionaron los 16 puntos de evaluación en cada subunidad.
3. Se colocaron los recipientes colectores de agua en los puntos antes seleccionados de la subunidad, tomando en cuenta que el sistema tuviese en operación al menos cinco minutos, para garantizar que las presiones estaban estables.
4. Se midieron los volúmenes de agua captados por los recipientes ubicados bajo los emisores, en un periodo de tres minutos.
5. Previamente, se instalaron las "T" en los puntos escogidos sobre el lateral (inicio, 1/3, 2/3, final) y se procedió a medir las presiones.

CAPITULO IV - ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL SISTEMA

✓ Forma y tamaño del Bulbo Húmedo y Masa Radicular

La profundidad radicular máxima alcanzada por el cultivo es de 30 cm y la zona de mayor concentración de raíces se encuentra en los primeros 20 cm, significando esto un 80 % del total de la masa radicular (**Ver Tabla 27**). El total de raíces se encuentra dentro de la zona humedecida por el emisor después de dos horas de riego, el bulbo denota una forma ovoidea de una altura de 35 cm y 25 cm en su parte más ancha. (**Ver anexo 4, pág. v**)

Tabla 27. Área cubierta por las raíces (por estratos)

Cuadrante	Profundidad (cm)	Área (cm ²)	Porcentaje de raíces (%)
A1	10	189.33	29.97
A2	10	316.25	50.06
A3	10	126.12	19.97
Total	30	631.70	100

Fuente: Propia

✓ Parámetros Físico – Químicos de suelo

En base a los resultados de las proporciones de arcilla, limo y arena (**Ver Anexos 6, 8 y 9**), se determinaron dos clases texturales predominantes, siendo estas Arcillosa y Arcillo-Limosa, las cuales no presentan diferencias significativas.

Tabla 28. Resultados de Clases Texturales de Suelos

% de Arcilla	% de Limo	% de arena	Clase textural
71.8	19.2	9	Arcilloso
49.8	41.2	9	Arcillo – Limoso

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, UNA

Tomando en cuenta los resultados de Densidad aparente de ambas clases texturales, estos se definen como suelos pesados a medios, lo cual indica que poseen espacios porosos muy pequeños.

Tabla 29. Resultados de densidad aparente de suelos

Clase textural	Densidad aparente (gr / cm ³)
Arcilloso	1.43
Arcillo - Limoso	1.28

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, UNA

La porosidad total en ambas clases texturales se considera como media, que se interpreta como suelos con contenido de poros disponibles para transportar agua al cultivo por capilaridad y que a su vez, están disponibles para almacenar aire.

Tabla 30. Resultados de porosidad total de suelos

Clase textural	Porosidad total (%)	Interpretación
Arcilloso	46	Porosidad media, con un espacio poroso considerado medio
Arcillo - Limoso	52	Porosidad media, con un espacio poroso considerado medianamente amplio

Fuente: Propia

Los valores de pH se encuentran entre ligeramente ácido y Neutro, siendo estos parámetros adecuados para el cultivo de sandía y para el máximo aprovechamiento de nutrientes (Ver Anexos 3 y 7).

Tabla 31. Resultados de acidez de suelos

Clase textural	pH	Interpretación	Efectos
Arcilloso	6.67	Neutro	Mínimos efectos tóxicos. si $pH < 7$, los carbonatos no son estables
Arcillo - Limoso	6.26	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, UNA

En ambas clases texturales el porcentaje de materia orgánica es considerado muy bajo, lo cual denota que son suelos con bajo contenido de nutrientes disponibles para el cultivo, pero compensados mediante la actividad de fertirrigación (**Ver Anexos 7, 10 y 11**).

Tabla 32. Resultados de materia orgánica de suelos

Clase textural	% de arcilla	% de materia orgánica	Clasificación
Arcilloso	71.8	0.4	Muy baja
Arcillo – Limoso	49.8	1.3	Muy baja

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, UNA

Los valores de conductividad eléctrica del suelo (CE) en ambos casos, clasifican los suelos como No Salinos, lo que se interpreta en suelos que no disminuyen la absorción de agua y nutrientes esenciales por las raíces, ni presentan problemas de toxicidad (**Ver Anexos 7, 12 y 13**).

Tabla 33. Resultados de conductividad eléctrica de suelos

Clase textural	Conductividad eléctrica [$\mu\text{S} / \text{cm}$]	Interpretación	Efectos
Arcilloso	37.0	No salino	Ninguno
Arcillo – Limoso	32.6	No salino	Ninguno

Fuente: Laboratorio de Suelo y Agua, UNA

✓ Porcentajes de humedad del suelo

Luego de determinar los porcentajes de humedad por el método gravimétrico se determinó que en la zona evaluada el porcentaje de humedad alcanzado para las dos clases texturales fueron las siguientes:

Para la clase textural del tipo Arcilloso, los resultados son los siguientes (**Ver Anexo 14**)

Tabla 34. Resultados de porcentajes de humedad de suelo Arcilloso

Promedios				
Profundidad (cm)	CC (%)	PMP (%)	LP (75% cc)	AFU (%)
0-15	49.96	29.73	37.47	20.24
15-30	46.3	27.55	34.72	18.75
30-45	45.63	27.15	34.23	18.48

Fuente: Propia

Para la clase textural del tipo Arcilloso-Limoso, los resultados son los siguientes (Ver Anexo 14).

Tabla 35. Resultados de Porcentajes de Humedad de Suelo Arcillo-Limoso

Promedios				
Profundidad (cm)	CC (%)	PMP (%)	LP (75% cc)	AFU (%)
0-15	35.92	21.37	26.94	14.55
15-30	36.73	21.86	27.55	14.88
30-45	38.90	23.14	29.17	15.75

Fuente: Propia

✓ **Velocidad de Infiltración del suelo**

Los suelos de la clase textural arcillosa reflejan una velocidad de infiltración básica ajustada de **5.62 cm/hora**, considerada como rápida; mientras que el suelo de clase textural arcillo-limoso (clase dominante en el lote) presenta un valor de velocidad de infiltración básica ajustada de **3.34 cm/hora**, considerada como rápida, (Ver Tabla 16, pág. 41). Ambas clases texturales en las condiciones propias del sitio evaluado son considerados suelos con rápida infiltración, sin embargo, los rangos de referencia bibliográfica presentados en otros estudios, no representan una realidad imperativa para este resultado, puesto que influyen también parámetros como el contenido de materia orgánica en el suelo, porosidad, tamaño de las partículas, ubicación geográfica, estructura del suelo, entre otros. (Ver Anexo 15 y 16).

4.2 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO

Los resultados de los Análisis de Laboratorio (Ver Anexo 25, 26 y 27) y su respectiva interpretación, se presentan consolidados en los siguientes cuadros:

Tabla 36. Resultado de relación de adsorción de sodio (RAS) del agua de riego

Relación de adsorción de sodio (meq/l)	Clasificación
1.32	Aguas de bajo contenido en sodio, útiles para el riego de la mayoría de suelos y cultivos.

Fuente: Propia

Tabla 37. Resultado de carbonato sódico residual (CSR) del agua de riego

Carbonato sódico residual (meq/l)	Clasificación
0.52	Recomendable

Fuente: Propia

Tabla 38. Resultado de dureza del agua de riego

Dureza (GHF)	Clasificación
15.03	Semi blanda

Fuente: CIRA-UNAN

Tabla 39. Resultado de sólidos disueltos totales del agua de Riego

Concentración de SDT [mg / l]	Grado de restricción en el uso
470.14	Restricción débil a moderada

Fuente: CIRA-UNAN

Tabla 40. Clasificación según normas Riverside del agua de riego

RELACION DE ADSORCION DE SODIO (RAS)	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)*	TIPOS	CALIDAD Y NORMAS DE USO
1.32	590	C 2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
		S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ = 1 micromhos/cm			

Tabla 41. Clasificación según normas H. Green (FAO) del agua de riego

Sodio en % del total de cationes	Sales (meq/l)	Clasificación
28.14	11.193	Buena calidad

Fuente: CIRA-UNAN

Tabla 42. Clasificación según normas L.V Wilcox del agua de riego

Sodio en % del total de cationes	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Clasificación
28.14	590	Excelente a buena

Fuente: CIRA - UNAN

Según los resultados de laboratorio en cuanto a la calidad del agua del pozo, y su clasificación en las normas **Riverside, L.V Wilcox y H. Greene**, utilizadas en la actualidad y recomendadas por la FAO y USDA, los valores de pH, RAS, PSI, CSR, DUREZA y SDT se encuentran dentro de los rangos permisibles para la actividad del riego y libres de toxicidad por sodio, carbonatos y bicarbonatos. Estos resultados no representan un riesgo para el suelo y el sistema de riego, clasificándola como agua útil para la irrigación en la mayoría de los suelos. **(Ver Anexo 29, 30 y 31)**

4.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DE SANDÍA EN LA ZONA

La evapotranspiración, permite dar una idea de la demanda climática de la zona, siendo el mes de Marzo el que presenta la mayor exigencia (**7.24 mm/día**) por las altas temperaturas que se presentan, lo cual implica que la planta transpirará mayor cantidad de agua y por lo tanto sus necesidades hídricas también serán mayores. **(Ver Anexo 24)**

Tabla 43. Resultado de la evapotranspiración del cultivo de sandía

Etapas	Descripción	DDT	Mes	Kc	ET_o (mm/día)	ETC (mm/día)
1	Crecimiento I	0-10	Febrero	0.25	5.86	1.47
2	Crecimiento II	10-18	Febrero	0.35	5.86	2.05
3	Floración	18-25	Febrero	0.65	5.86	3.81
4	Fructificación	25-35	Marzo	0.90	6.58	5.92
5	Llenado	35-55	Marzo	1.10	6.58	7.24
6	Maduración	55-60	Marzo	0.83	6.58	5.46
7	Cosecha	>60	Abril	0.65	6.55	4.26

DDT = Días después del trasplante

Fuente: Propia

4.4 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL SISTEMA

A continuación se presentan los cálculos y datos obtenidos en la prueba de evaluación hidráulica para una de las subunidades evaluadas y tomada como representativa del sistema (**Ver Anexos 35 – 39**).

✓ **Coficiente de Uniformidad de Caudales Válvula 1, Turno 7**

Cuatro valores más bajos de caudal:

$$\rightarrow q_3 = 0.64 \text{ l/h}$$

$$\rightarrow q_7 = 0.56 \text{ l/h}$$

$$\rightarrow q_{10} = 0.54 \text{ l/h}$$

$$\rightarrow q_{16} = 0.54 \text{ l/h}$$

$$CU_q = \left(\frac{\bar{q}_{25m}}{q} \right) * 100$$

$$CU_q = \left(\frac{0.57 \text{ l/h}}{0.61 \text{ l/h}} \right) * 100$$

$$CU_q = 93.44 \%$$

Clasificación: **Buena**

✓ **Coefficiente de uniformidad de presiones**

Cuatro valores más bajos de presión:

→ $p_4 = 9.00$ PSI

→ $p_8 = 8.00$ PSI

→ $p_{12} = 10.00$ PSI

→ $p_{16} = 9.50$ PSI

$$CU_p = \left(\frac{\bar{p}_{25m}}{\bar{p}} \right)^x * 100$$

$$CU_p = \left(\frac{9.13 \text{ PSI}}{9.91 \text{ PSI}} \right)^{0.5} * 100$$

$$CU_p = 95.98 \%$$

Clasificación: **Excelente**

✓ **Coefficiente de variación total de caudales**

$$CV_q = \left(\frac{\sigma_q}{\bar{q}} \right) * 100$$

$$CV_q = \left(\frac{0.0598 \text{ l/h}}{0.61 \text{ l/h}} \right) * 100$$

$$CV_q = 9.80 \%$$

Clasificación: **Excelente**

✓ **Coefficiente de variación total de presiones**

$$CV_p = \left(\frac{\sigma_p}{\bar{p}} \right) * 100$$

$$CV_p = \left(\frac{0.7793 \text{ PSI}}{9.91 \text{ PSI}} \right) * 100$$

$$CV_p = 7.87 \%$$

Clasificación: **Excelente**

✓ **Coefficiente de variación debido a emisores**

$$CV_e = \sqrt{(CVq)^2 - (x^2 * CVp^2)}$$

$$CV_e = \sqrt{(9.80)^2 - [(0.5)^2 * (7.87)^2]}$$

$$CV_e = 8.98 \%$$

Clasificación: **Sin problemas de fábrica**

A continuación se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos en todas las subunidades de riego evaluadas. (Ver Anexos)

Tabla 44. Resultados de Coeficientes Hidráulicos en Subunidades Evaluadas

Resumen de cálculo de uniformidad lote "D"												
Turno	Válvula	Uniformidad de caudales (%)		Uniformidad de presiones (%)		Variación total de caudales (%)		Variación total de presiones (%)		Variación debido a emisores (%)		Pendiente del terreno (%)
7	1	93.44		95.98		9.80		7.87		8.98		0.68
	3	80.54	70.59	90.58	93.20	15.46	29.2	14.26	12.76	13.7	28.16	4.34
	3'	60.63		95.81		42.96		11.25		42.6		3.98
4	1	84.77		97.37		33.79		8.62		33.51		2.91
	4	79.49		92.97		34.10		13.76		33.40		2.91
1	1	89.31		93.97		15.06		25.13		8.30		0.68
Media		83.52		94.70		24.39		13.63		22.47		2.58

Fuente: Propia

La Uniformidad de distribución o de caudales (CUq), resultó ser de 83.52 %, que según el criterio orientativo recibe la clasificación de "ACEPTABLE", (Ver **Tabla 23, pág. 68**). Este valor indica que el 16.48 % de los emisores erogán más agua de la necesaria.

Al calcular el Coeficiente de Uniformidad debido a las presiones (Cup), se obtuvo un valor de 94.70 %, que según el criterio orientativo recibe la clasificación de “EXCELENTE”, (**Ver Tabla 23**). Esto indica que sólo el 5.30 % de los emisores opera por encima de su presión nominal de diseño.

El Coeficiente de Variación Total debido a los Caudales (CVq), dio como resultado 24.39 %, el cual, tomando como criterio orientativo recibe la clasificación de “ACEPTABLE”, (**Ver Tabla 24**). Este porcentaje refleja que la cantidad de emisores que emiten más agua, se desvían un 24.39 % de la cantidad nominal que deberían entregar (0.51 l/hora).

El Coeficiente de Variación Total debido a Presiones (CVp), resultó de 13.63 %, que según el criterio presentado obtiene una clasificación de “BUENA”, (**Ver Tabla 24**). Esto indica que los goteros que operan con problemas de presión, se desvían un 13.63 % de la presión nominal de diseño (8 P.S.I)

El valor del Coeficiente de Variación debido a Emisores (CVe), es de 22.47%, por encima del 20% máximo que el (CVe) debe tener, (**Ver Tabla 25**). Esto sugiere según el criterio orientativo, que la falta de uniformidad en las presiones y caudales erogados por los emisores, es debida a obstrucciones en estos.

✓ **Coefficiente de uniformidad del sistema (eficiencia de uniformidad)**

A continuación se presenta el resumen de datos que nos servirán para determinar el coeficiente de uniformidad del sistema. Estos fueron tomados de los datos recopilados de cada subunidad de riego.

Tabla 45. Resultados de presiones y caudales de válvulas representativas lote “D”

Presión al inicio de los laterales evaluados en cada subunidad (p.s.i)											
Turno	Válvula	Lateral n° 1	Lateral n° 2	Lateral n° 3	Lateral n° 4	Valor mínimo de presión		25% de los valores mínimos de presión	Coeficiente de uniformidad de caudales (%)	Coeficiente de uniformidad de presiones (%)	
7	1	11.00	11.00	11.00	10.00	10		9	93.44	95.98	
	3	8.00	12.00	12.00	10.00	8	9		80.54	70.59	90.58
	3'	10.00	10.00	11.00	11.00	10			60.63		95.81
4	1	8.00	10.00	9.00	9.00	8		8	84.77	97.37	
	4	9.00	10.00	11.00	13.00	9			79.49	92.97	
1	1	12.00	9.00	9.00	8.00	8		8	89.31	93.97	
Fuente: propia					Media	8.80	8.33	83.52	94.70		

Para realizar el cálculo del coeficiente de uniformidad del sistema se tomaron 5 válvulas representativas distribuidas en 3 turnos de riego, de un total de 26 válvulas del sistema, esto representa un 19% del total de válvulas, espacio muestral suficiente para el cálculo de dicho coeficiente.

✓ **Factor de corrección del coeficiente de uniformidad**

$$f_c = \left(\frac{\bar{p}_{25\ ms}}{\bar{p}_{ms}} \right)^x$$

$$f_c = \left(\frac{8.33\ PSI}{8.80\ PSI} \right)^{0.5}$$

$$f_c = 0.972$$

✓ **Coeficiente de uniformidad del sistema**

$$C.U.SISTEMA = f_c * C.U.SUBUNIDAD$$

$$C.U.SISTEMA = 0.972 * 83.52\ \%$$

$$C.U.SISTEMA = 81.18\ \%$$

Clasificación: **Acceptable**

El Coeficiente de uniformidad del sistema, resultó de 81.18 % al aplicarle el factor de corrección, según el criterio presentado para sistemas de riego por goteo, obtiene una clasificación de "ACEPTABLE", (Ver Tabla 23).

✓ **Eficiencia de Aplicación**

Haciendo uso de la herramienta Office Excel, se calculó la eficiencia de aplicación para cada subunidad de riego evaluada.

La media del caudal aplicado por día, se determinó como el producto de la media del caudal aplicado en una hora y el tiempo de riego manejado en la finca.

Para la deducción de la cantidad de goteros en un metro cuadrado, se tomó como referencia la siguiente expresión:

$$No\ de\ goteros\ /\ m^2 = \frac{1}{(E_{goteros}) * (E_{laterales})}$$

Siendo el espaciamiento entre goteros de 0.10 m y entre laterales (cintas) de 1.8m.

La lámina de agua aplicada, fue calculada como el producto de la media del caudal aplicado por día y el número de goteros por metro cuadrado. (1 l / m² día = 1 mm / día).

Los datos obtenidos, se presentan a continuación:

Tabla 46. Resultados de Eficiencia de Aplicación del Sistema

Turno	No de válvula	Media del caudal aplicado (l/h)	Tiempo de riego (hr/día)	Media del caudal (l/día)	Cantidad de goteros por m ²	Lámina aplicada [La] (mm/día)	Lámina evapotranspirada [Le] (mm/día)	Eficiencia de aplicación (%)
7	1	0.61	2	1.22	6	7.32	7.24	98.91
	3 3'	0.72	2	1.44	6	8.66	7.24	83.61
4	1	0.61	2	1.22	6	7.29	7.24	99.31
	4	0.79	2	1.57	6	9.44	7.24	76.74
1	1	0.67	2	1.33	6	8.00	7.24	90.56
Promedio		0.68		1.36		8.14		
							Eficiencia de aplicación del sistema	89.83

Fuente: Propia

Para la Eficiencia de Aplicación del sistema, se tomó en cuenta la eficiencia de cada subunidad evaluada:

$$E_{apSistema} = \frac{98.91 + 83.61 + 99.31 + 76.74 + 90.56}{5}$$

$$E_{apSistema} = 89.83 \%$$

✓ **Eficiencia de Almacenamiento**

$$E_{al} = \left(\frac{L_a}{L_e} \right) * 100$$

$$E_{alSistema} = \frac{8.14 \text{ mm/día}}{7.24 \text{ mm/día}} \times 100$$

$$E_{alSistema} = 112.43 \%$$

En este caso, una eficiencia del almacenamiento del 100% no indica un riego adecuado, ya que es posible posiblemente se esté llevando el perfil de suelo a capacidad de campo, pero con una pérdida por percolación profunda.

Para lograr conocer cuál es la eficiencia de almacenamiento real tomando en cuenta el dato anterior y la pérdida de agua que esto incurre, se realiza el siguiente cálculo:

$$E_{alSistema} = \frac{1}{\left(\frac{L_a}{L_e}\right)} * 100$$

$$E_{alSistema} = \frac{1}{1.12} * 100$$

$$E_{alSistema} = 89.29 \%$$

✓ **Eficiencia de Riego**

$$E_R = \frac{E_{ap} + E_{al} + E_u}{3}$$

$$E_R = \frac{89.83 + 89.29 + 81.18}{3}$$

$$E_R = 86.76 \%$$

Clasificación: **Buena**

La eficiencia de riego del sistema dio un resultado de 86.76 %, cuando según el criterio orientativo, el riego por goteo debería alcanzar eficiencias del 90% a más, (**Ver Tabla 26**). Este porcentaje representa el volumen de agua derivada de este sistema de riego, con relación al volumen de agua efectivamente utilizado por las plantas. El 13.24 % del volumen de agua se pierde y no es aprovechado directamente por el cultivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El Comportamiento radicular en la mayoría de las plantas analizadas fue similar, alcanzando una profundidad máxima de 30 cm, y una concentración de raíces del 50% ubicada en zona comprendida entre los 10 a 20 cm de profundidad,
2. El bulbo húmedo mostró una forma ovoidea con dimensiones de 35 cm en su parte más larga y de 25 cm de ancho, se comprobó que el bulbo húmedo logra cubrir toda la zona radical luego del periodo de riego. El bulbo se extiende 5 cm más abajo de la profundidad máxima de raíces, por lo tanto el sistema opera eficientemente sin incurrir en pérdidas de consideración por percolación.
3. Se dispone de un agua para riego de muy buena calidad, avalada por el análisis de laboratorio de calidad de aguas del CIRA/UNAN y las normas de clasificación para las aguas con fines de riego utilizadas por la FAO y USDA. Se catalogó como agua sin riesgos de toxicidad por presencia de elementos perjudiciales, por tanto, esto la convierte en agua útil para el riego en la mayoría de los suelos.
4. Los resultados obtenidos en el estudio de campo y laboratorio determinan que se dispone de suelos fértiles con un alto potencial agrícola, gran poder de retención de agua, de textura Arcillosa y Arcillo-Limosa, respectivamente. Se caracterizan por tener una buena disposición de nutrientes, no son salinos, presentan buen drenaje y brindan las condiciones para un óptimo desarrollo del cultivo.
5. La evapotranspiración real del cultivo (7.24 mm/día), no se aleja mucho a la planteada en el diseño (7.0 mm/día), no obstante las láminas reales aplicadas promediaron 8.14 mm/día, una lámina ligeramente mayor a la planteada en el diseño y a la evapotranspiración real, esta lámina se considera suficiente para mantener el suelo a capacidad de campo, permitiendo el desarrollo de raíces y evitando un posible estado de estrés hídrico en las plantas.

6. El Coeficiente de Uniformidad debido a presiones y a Caudales (CU_p y CU_q), así como el Coeficiente de Variación Total de estos (CV_t), ha determinado una variación en la lámina aplicada y en algunos casos la reducción del volumen de agua en el cultivo. Esta diferencia de uniformidad se traduce como plantas que reciben mayor cantidad de agua, mientras que otras reciben menores volúmenes, afectando directamente los rendimientos del cultivo en algunas zonas de la parcela evaluada.
7. Se logró comprobar que la relativa mala distribución en los volúmenes de agua no se debe a causas hidráulicas, sino a que los goteros se encuentran parcial o totalmente obturados por partículas provenientes del pozo, lo que provoca directamente un desarrollo poco homogéneo del cultivo.
8. En términos generales se concluye que el valor de uniformidad del sistema de 81.18% se considera "Aceptable" para sistemas de riego por goteo y su eficiencia de riego de 86.76% es considerada "Buena" para sistemas de este tipo.

RECOMENDACIONES

1. Antes de iniciar el primer riego, realizar una limpieza a fondo de los distintos componentes, haciendo circular el agua por la red con algo más de presión de la habitual, dejando abiertos los extremos finales de los laterales. Esto permitirá evacuar los restos de partículas de arena y limo provenientes del pozo y que no hayan sido retenidos por el filtro. Es importante repetir esta acción a mediados de la campaña de riego.
2. Verificar si el sistema de filtrado es el adecuado y si cumple con los requerimientos técnicos para el tamaño de partículas suspendidas en el agua, producto de la succión de la bomba. Es necesario hacer una revisión del pozo y constatar su estado, a fin de verificar si existe exceso de material proveniente de este.

3. Para el mantenimiento de medidores de flujo, válvulas y reguladores de presión, realizar las siguientes actividades: inspeccionar carcasas, drenar y lubricar válvulas, limpiar corrosión y materiales ajenos a los elementos, verificar la existencia de fugas.
4. Para el mantenimiento de la red de riego, realizar las siguientes actividades: abrir el final de los laterales y hacer circular el agua, verificar con frecuencia la existencia de fugas, medir el coeficiente de uniformidad, revisar visualmente signos de deterioro o daño, revisar la existencia de corrosión y consultar con un técnico calificado posibles medidas.
5. Para el mantenimiento de los emisores, realizar las siguientes actividades: revisar la existencia de emisores dañados o deteriorados, verificar visualmente que los emisores funcionan correctamente, prevenir o tratar problemas de obturaciones, hacer medidas de uniformidad de aplicación, inyectar dosis de ácido o cualquier limpiador en caso de taponamiento químico o biológico y recoger tuberías laterales a fin de guardarlas hasta la próxima campaña.
6. Utilizar cintas autocompensadas en lugares donde la pendiente sea muy pronunciada, para evitar variaciones bruscas de presión que alteren el funcionamiento del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

Apuntes de riego y drenaje

Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Dr. Rodolfo Cisneros; 2003

Aguas, cuadernos COMPO de interpretación de análisis

COMPO Agricultura, S.L; 2007

Apuntes, Principios y Métodos de Riego

Ing. Horacio González Arias, UNI, Nicaragua; 2010

Curso, Relación Suelo – Agua – Planta

Eduardo Salgado V; 2001

Características hídricas de los suelos y eficiencias de riego

Luis a. Gurovich; Ing. Agrónomo M. Sc; 1979

Calidad del agua de riego

Pedro de los Ángeles Megía; 2012

Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego

Universidad de Chile; 2005

Curso, Diseño de Sistemas de Riego I

Msc. Lorenzo Sieza Coronel; 2011

Curso, Riego y Drenaje

Zamorano; 2006

Evapotranspiración del cultivo

Estudio FAO riego y drenaje No 56; 2006

El Agua del Suelo

Cátedra de Edafología, Universidad Nacional de Tucumán; 2011

Estudio Agroecológico de la región III y su aplicación al desarrollo agropecuario

Eduardo Marín Castillo

Fundamentos de Riego

Ing. Mg. Sc. Lorenzo Hurtado Leo. Universidad Nacioanl Agraria La Molina

Fundamentos de Edafología

Jorge Núñez Solís; 2000

Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales

Cadahia L., C; 2005

Guía para el cultivo de sandía (Citrullus Lanatus)

MCA/Nicaragua, Chemonics International, Inc; 2012.

Guía práctica para la exportación a EE.UU. SANDIA

*Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
Representación del IICA en Nicaragua; 2007.*

Levantamiento de Suelos de la región pacífica de Nicaragua. Vol I y II

Catastro e Inventario de recursos naturales de Nicaragua

Libro Azul. Manual de Fertirriego de SQM

Román, S. 2002

Manual para la producción de sandía

USAID-RED. Proyecto de diversificación económica rural; 2007.

Monografía de la Sandía

Comisión Veracruzana de comercialización agropecuaria; 2010

Manual práctico para el diseño de sistemas de Minirriego

Julián Carrazón Alocén; FAO; 2007

Manejo del riego localizado y Fertirrigación

Boletín INIA - No 126; 2005

Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado

Fernando Espinoza Fuentes; 2001

Manual de evaluación de sistemas de riego tecnificados

Boletín INIA - No 80; 2003

Propiedades Físicas del Suelo

Universidad de la República, Uruguay; 2004

Programación del Riego

Universidad Nacional de Talca; 1999

Relaciones Hídricas Suelo – Agua – Planta (Diaporama)

Comisión Nacional de Riego, Gobierno de Chile; 2012

Relación agua-suelo-planta - Efectos del agua sobre el rendimiento

Universidad Nacional de Luján, Ing. Agr. Susana Pariani; 2005

Seguimiento Nutricional. Interpretación de análisis de Suelo

Dr. Iván Frutos; 2012

Seguimiento Nutricional. Interpretación de análisis de Agua

Dr. Iván Frutos; 2012

Sistemas de Programación de Riego usando estaciones meteorológicas automáticas

Samuel Ortega Farias, Universidad de Talca; 2012

Sistemas de riego para el trópico húmedo

Wilder Camacho, Nydia Rivero; 2004

ANEXOS

**ANEXO 1. Clasificación de los Suelos de Orden Molisol de la Región del Pacífico de Nicaragua
en el sistema de la 7ª Aproximación**

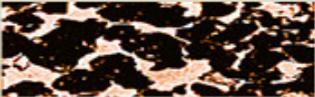
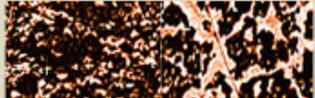
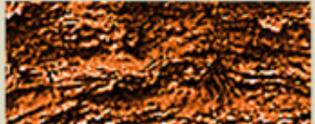
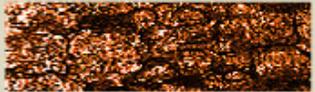
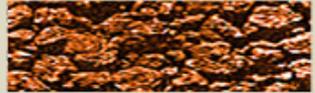
Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo	Familia*	Serie	Siglas de serie
Mollisol	Ustoll	Argiustoll	Pachic Argiustoll	Fine, montmorillonitic	La Paz Centro	PC
			Pachic Argiustoll	Fine, montmorillonitic	San Gabriel	SG
			Pachic Argiustoll	Fine, montmorillonitic	San Felipe	SF
		Calciustoll	Petrocalcic Calciustoll	Fine, montmorillonitic	La Palmera	LP
		Durustoll	Typic Durustoll	Fine, montmorillonitic	Diriamba	DI
			Typic Durustoll	Fine, montmorillonitic	Zambrano	ZM
		Haplustoll	Typic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Buena Vista	BV
			Typic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	El Limón	EL
			Typic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Larreynaga	LR
			Typic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Sontol	SN
			Typic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Padre Ramos	PR
			Aquic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	El Bálsamo	EB
			Aquic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic over clay	Goyena	GY
			Aquic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Miramar	MI
			Aquic Fluventic Haplustoll	Fine Loamy, mixed	Río Negro	RN
			Cumulic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Papalonal	PP
			Duric Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Nejapa	NJ
			Fluventic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Sinaloa	SA
			Fluventic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Gil González	GG
		Fluventic Haplustoll	Fine Loamy, mixed	Palo Grande	PG	

ANEXO 1. Continuación

Orden	Suborden	Gran grupo	Subgrupo	Familia*	Serie	Siglas de serie
Mollisol	Ustoll	Haplustoll	Pocnic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	San José	SJ
			Pocnic Haplustoll	Fine Loamy	Colonia Israel	CI
			Pocnic Haplustoll	Fine Loamy, montmorillonitic	La Gloria	LO
			Vertic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	Chilamatillo	C
			Vertic Haplustoll	Fine, montmorillonitic	El Paso	EP
	AQUOLL	ARGIAQUOLL	Typic Argiaquoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Ingenio Dolores	ID
		HAPLAQUOLL	Typic Haplaquoll	Fine Loamy, montmorillonitic	La Calera	LCA
			Typic Haplaquoll	Fine Loamy, montmorillonitic	Tisma	TI
			Lithic Vertic Haplaquoll	Fine, montmorillonitic	El Charco	ECH
	UDOLL	ARGIUDOLL	Typic Argiudoll	Fine, montmorillonitic	Fátima	FA
			Vertic Argiudoll	Fine, montmorillonitic	Cárdenas	CR
		HAPLUDOLL	Lithic Hapludoll	Fine, montmorillonitic	Sapoá	SP
	* Todas las series son Isohipertérmicas					

Fuente: Levantamiento de Suelos de la región Pacífica de Nicaragua (Catastro e Inventario de Recursos Naturales de Nicaragua)

ANEXO 2. Tipos de estructuras del suelo

TIPO	CARACTERÍSTICAS	APRECIACIÓN
GRANULAR	Relativamente no porosos; agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".	
MIGAJOSA	Relativamente porosos; agregados pequeños y esferoidales no ajustados a los agregados adyacentes. Se localizan comúnmente en el horizonte "A".	
LAMINAR	Agregados similares a placas; las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son menores que sus dimensiones horizontales. Las placas a menudo se superponen e impiden la permeabilidad. Se encuentran generalmente en el horizonte "A2", en suelos de bosques y estratos arcillosos.	
BLOQUES ANGULARES	Bloques limitados por otros agregados cuyas caras angulares bien definidas, forman el molde de estos. Los agregados a menudo se rompen en bloques más pequeños. Se localizan generalmente en el horizonte "B".	
BLOQUES SUBANGULARES	Gránulos similares a bloques limitados por otros agregados, cuyas caras angulares redondeadas forman el molde del gránulo. Se localiza generalmente en el horizonte "B".	
PRISMÁTICA	Agregados similares a columnas con las partes superiores no redondeadas. Otros agregados forman el molde del ped. Algunos agregados prismáticos se rompen en pedos de bloques más pequeños. Se localiza generalmente en el horizonte "B".	
COLUMNAR	Se caracteriza porque las dimensiones verticales de los agregados en posición natural son mayores que sus dimensiones horizontales. Las columnas están separadas por grietas verticales y generalmente quebradas por grietas horizontales. Las cabezas de las columnas son redondeadas y se encuentran muy a menudo en el horizonte "B" en suelos alcalinos (sódicos).	

Fuente: Apuntes de Riego y Drenaje (Universidad Autónoma de San Luís, Potosí)

ANEXO 3. Efectos del pH del suelo

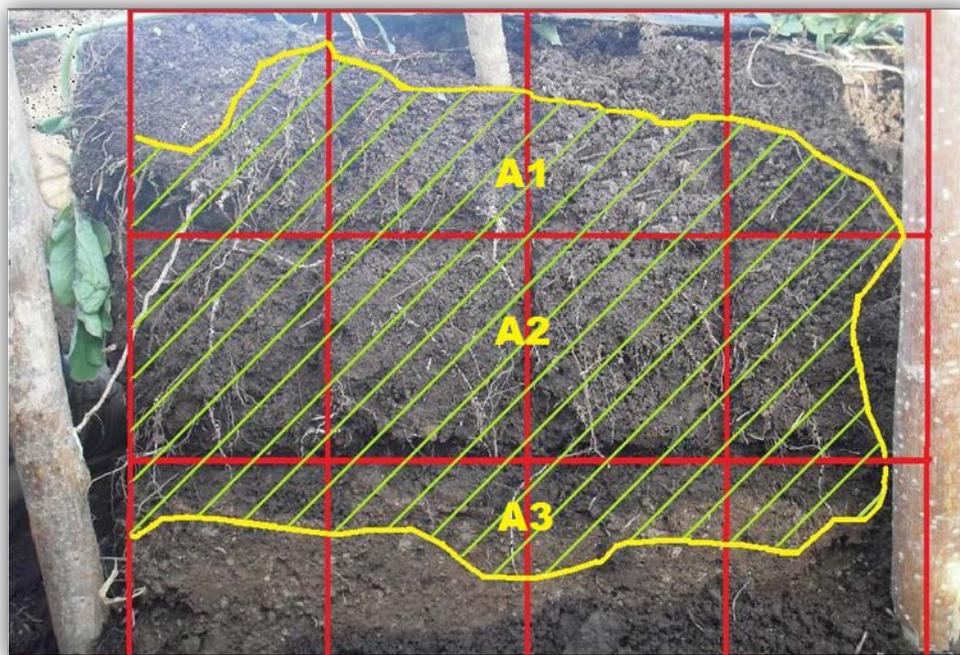
pH	Evaluación	Efecto
< 4.5	Extremadamente Ácido	Muy desfavorable
4.5 - 5.0	Muy Fuertemente Ácido	Posible toxicidad por Al y Mn
5.1 - 5.5	Fuertemente Ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn Defecto: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S Sin Carbonatos, escasa actividad bacteriana
5.6 - 6.0	Medianamente Ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos
6.1 - 6.5	Ligeramente Ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes
6.6 - 7.3	Neutro	Mínimos efectos tóxicos. Si pH<7, los carbonatos no son estables
7.4 - 7.8	Medianamente Básico	Suelos con CaCO ₃
7.9 - 8.4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P, B Deficiencia de: Co, Cu, Fe, Mn, Zn En suelos calizos: Clorosis Férrica
8.5 - 9.0	Ligeramente Alcalino	Problemas de Clorosis Férrica. El pH suele deberse a MgCO ₃
9.1 - 10.0	Alcalino	Presencia de Na ₂ CO ₃
> 10.0	Fuertemente Alcalino	Na intercambiable alto Toxicidad de Na, B Movilidad del P Escasa actividad microbiana Escasa disponibilidad de Micronutrientes

Fuente: Departamento De Agricultura De Los Estados Unidos De Norteamérica (USDA)

ANEXO 4. Bulbo Húmedo y Desarrollo Radicular



Forma y tamaño real del bulbo húmedo del área de evaluación



Desarrollo real de la masa radicular en el área de evaluación.

ANEXO 5. Rangos de Interpretación de Resultados de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

Rango de Clasificación Aproximada de Nutrientes en Suelos
de Nicaragua (Quintana et al., 1983)

pH	Clasificación
< 4.6	Extremadamente ácido
4.6 - 5.2	Muy fuertemente ácido
5.2 - 5.6	Fuertemente ácido
5.6 - 6.2	Medianamente ácido
6.2 - 6.6	Ligeramente ácido
6.6 - 6.8	Muy ligeramente ácido
6.8 - 7.2	Neutro
7.2 - 7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.8 - 8.4	Medianamente alcalino
8.4 - 8.8	Fuertemente alcalino
8.8 - 9.4	Muy frecuentemente alcalino
> 9.4	Extremadamente alcalino

Capacidad de Intercambio Catiónico

<5	meq/100 g suelo	Muy baja
5 - 15	meq/100 g suelo	Baja
15 - 25	meq/100 g suelo	Media
25 - 40	meq/100 g suelo	Alta
>40	meq/100 g suelo	Muy alta

Rango de contenidos de macronutrientes.

Nutrientes	Unidades	Pobre	Medio	Alto
Nitrógeno (N)	%	< 0.07	0.07 - 0.15	≥ 0.15
Fósforo (P)	ppm	< 10	10 - 20	> 20
Potasio (K)	meq/100 g	< 0.2	0.2 - 0.3	> 0.3
Calcio (Ca)	meq/100 g	< 2.5	2.5 - 5.5	> 5.5
Magnesio (Mg)	meq/100 g	< 0.3	0.3 - 1.0	> 1.0
Mat. Orgánica (MO)	%	< 2	2 - 4	> 4

Rangos de contenidos de micronutrientes (extracción Olsen)

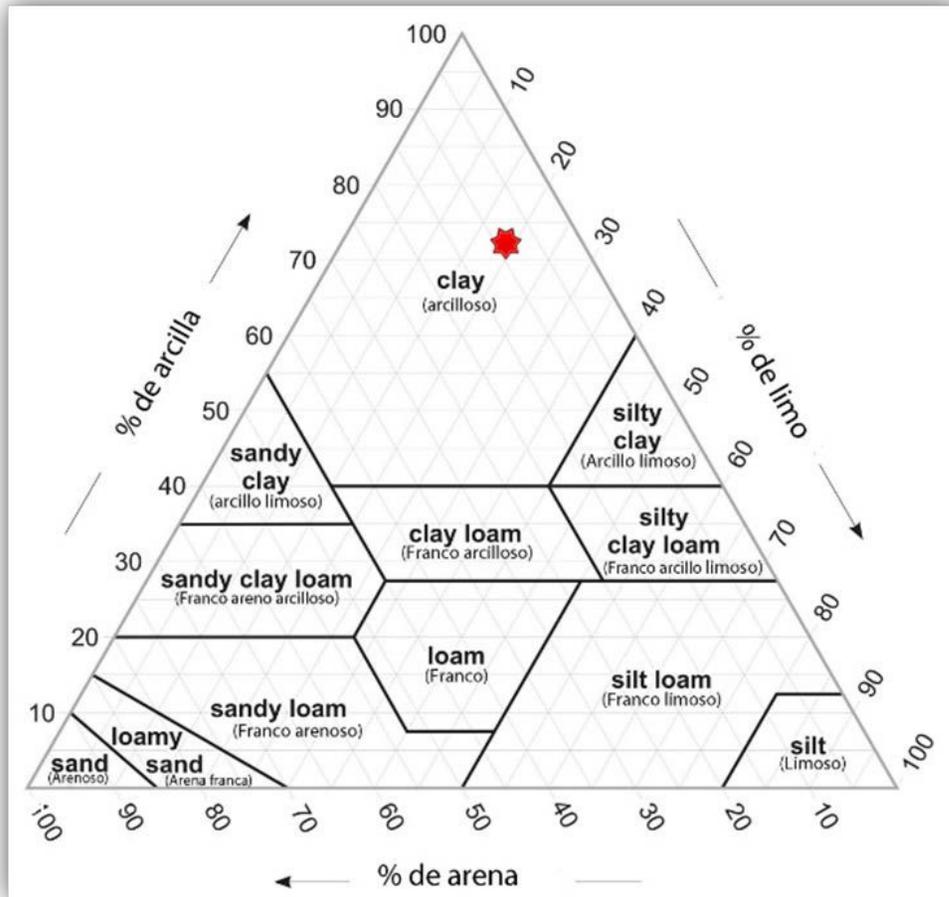
Nutriente	Unidades	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto
Hierro (Fe)	ppm	5 - 10	10 - 16	16 - 21	21-2
Zinc (Zn)	ppm	1 - 2	2.1 - 3.1	3.1 - 4.2	4.2 - 5.3
Cobre (Cu)	ppm	0.2 - 0.8	0.8 - 1.5	1.5 - 2.2	2.2 - 3.0
Manganeso	ppm	2-4	4-6	6-8	8-12



ANEXO 8. Clasificación Textural (Suelo Arcilloso - Lote D)

% DE ARCILLA	% DE LIMO	% DE ARENA	CLASE TEXTURAL
71.8	19.2	9	ARCILLOSO

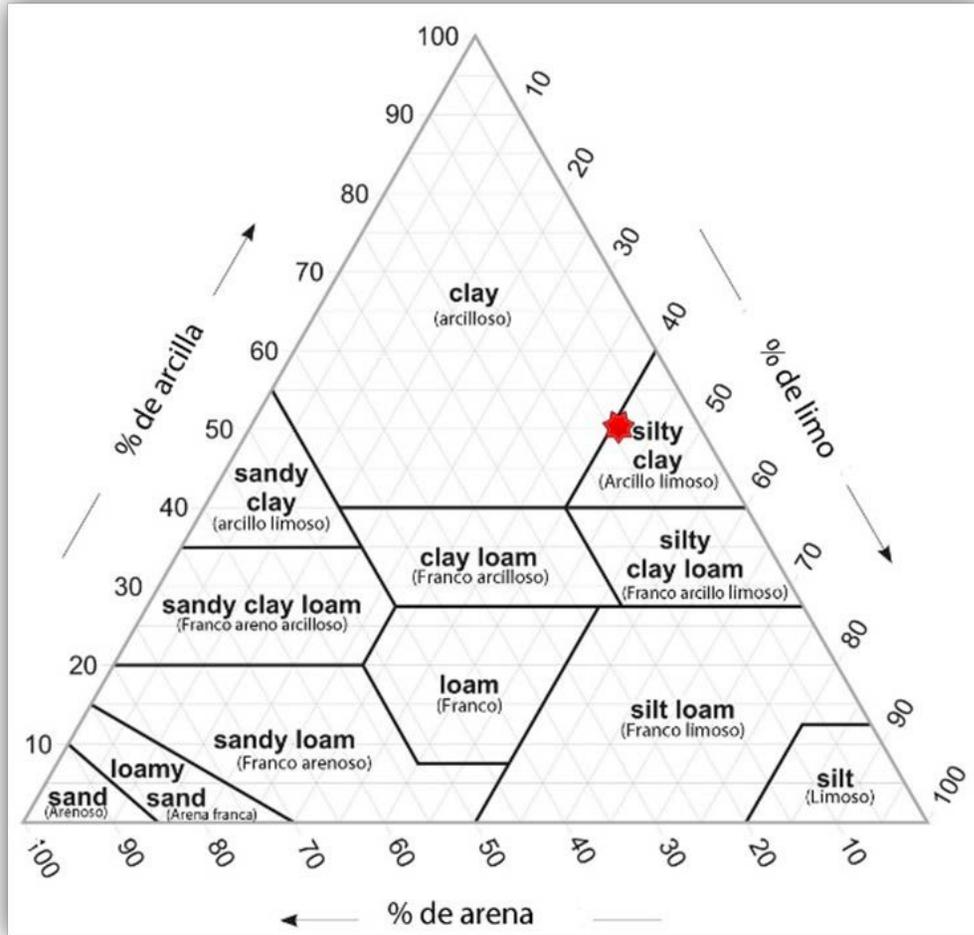
Fuente: Propia



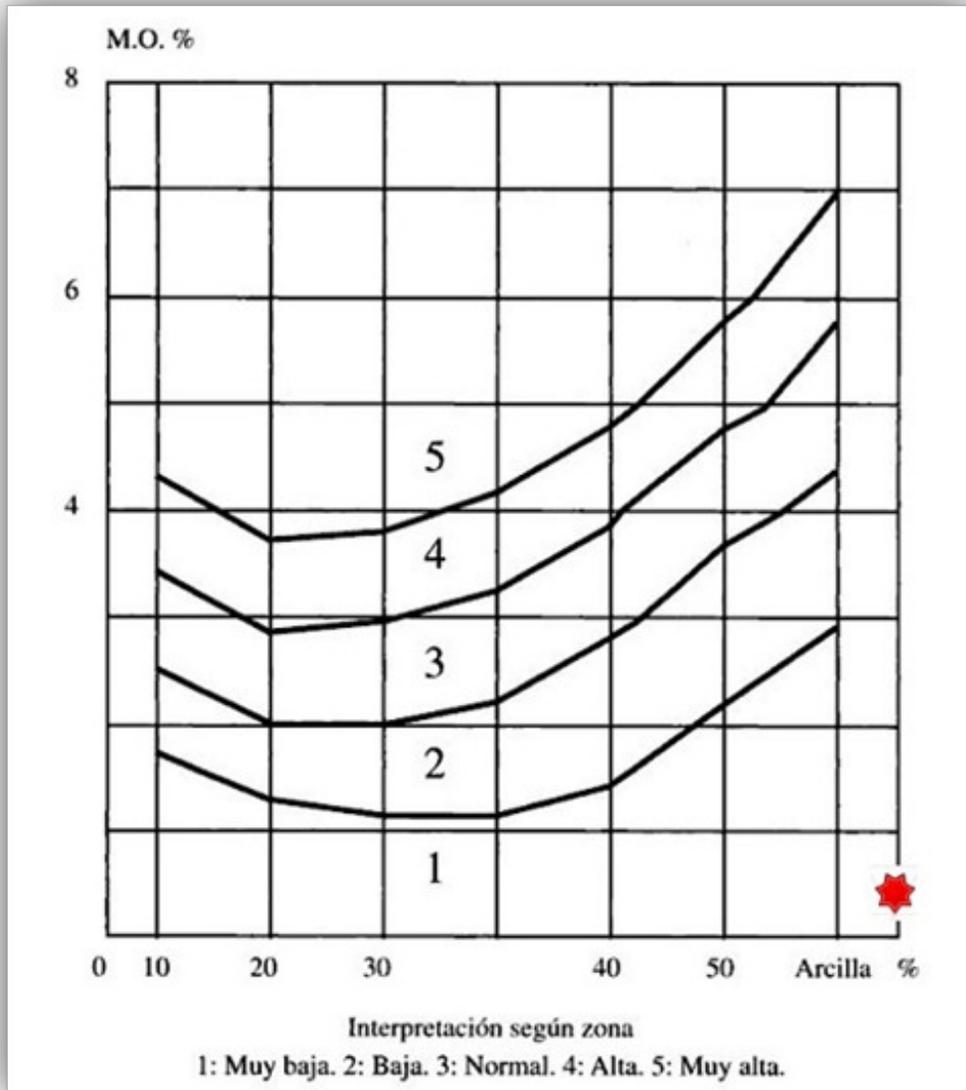
ANEXO 9. Clasificación Textural (Suelo Arcillo Limoso - Lote D)

% DE ARCILLA	% DE LIMO	% DE ARENA	CLASE TEXTURAL
49.8	41.2	9	ARCILLO – LIMOSO

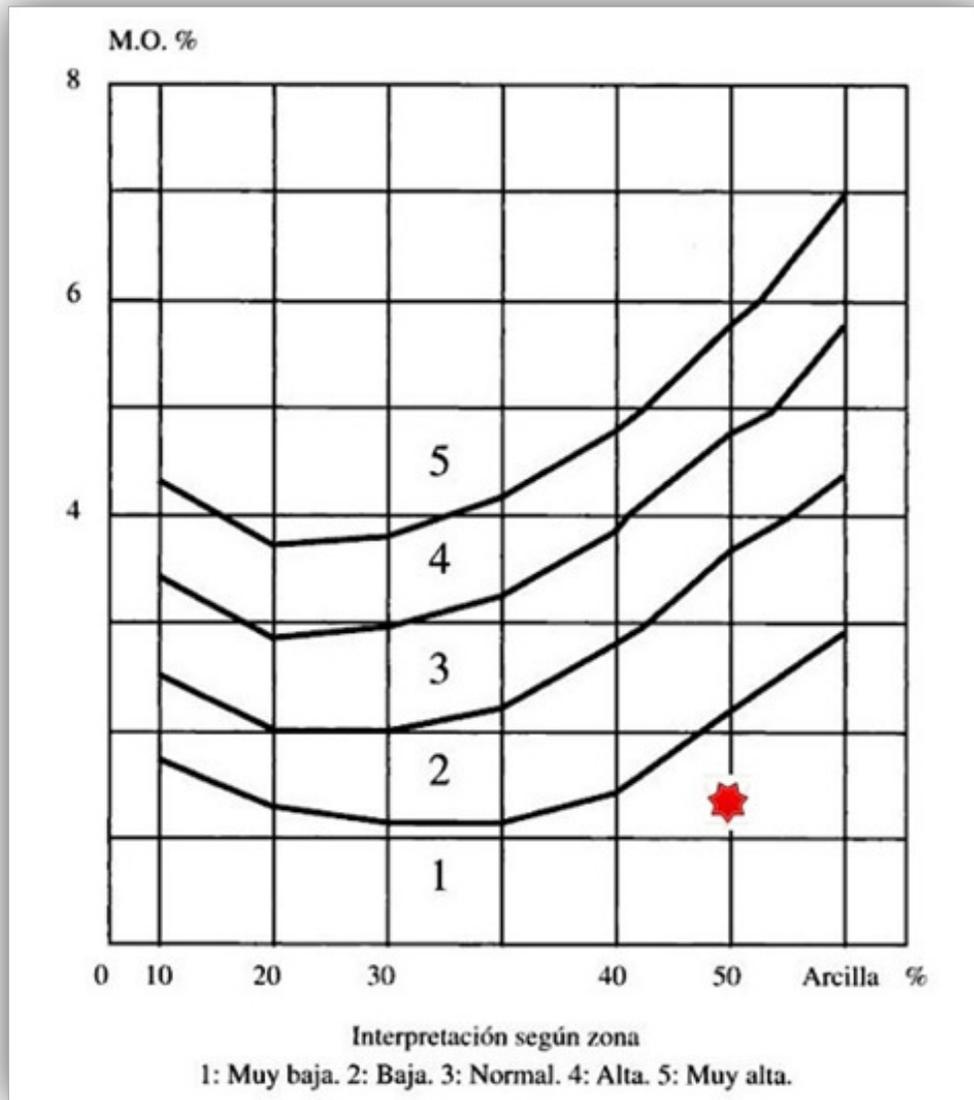
Fuente: Propia



**ANEXO 10. Clasificación de la Materia Orgánica Oxidable
(Suelo Arcilloso - Lote D)**



**ANEXO 11. Clasificación de la Materia Orgánica Oxidable
(Suelo Arcillo Limoso - Lote D)**



**ANEXO 12. Análisis Físico Químico
(Suelo Arcillo Limoso - Lote D)**

descripcion	Rango			Diagnostico	
	Bajo ≤	Medio	Muy alto >	resultados	clasificación
pH [unds ph]	4.6 (ácido)	6.80 – 7.2 (neutro)	9.4 (alcalino)	6.26	ligeramente acido
mat. orgánica mo [%]	2	2 – 4	4	1.3	pobre
nitrógeno (n) [%]	0.06	0.07 – 0.15	20	0.06	pobre
ce [ds/cm]	0.1–0.5	0.5 – 0.9	1.0 – 3.0	0.0326	no salino
boro (b) [ppm]	0.2–0.5	0.5 – 1.0	1	0.21	bajo
nitrato (no ₃) [ppm]	-----	-----	-----	3.22	-----
amonio [nh ₄]	-----	-----	-----	4.2	-----
da [g/cm ³]	-----	-----	-----	1.28	arcilla limosa
humedad [%]	-----	-----	-----	29.38	-----

Fuente: Propia

Referencias: Toma de muestras e interpretación de análisis de fertilidad de suelo. SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO (SIAR)

Rango de clasificación aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua. QUINTANA et al, 1983

Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USDA)

**ANEXO 13. Análisis Físico Químico
(Suelo Arcilloso - Lote D)**

Descripción	Escalas			Diagnostico	
	Bajo ≤	Medio	Muy alto >	Resultados	Clasificación
pH [Unds pH]	4.6 (ácido)	6.80 – 7.2	9.4	6.67	Muy ligeramente Acido
		(Neutro)	(Alcalino)		
Mat. Orgánica MO [%]	2	2 – 4	4	0.4	Pobre
Nitrógeno (N) [%]	0.06	0.07 – 0.15	20	0.02	Pobre
CE [dS/cm]	0.1–0.5	0.5 – 0.9	1.0 – 3.0	0.037	No salino
Boro (B) [ppm]	0.2–0.5	0.5 – 1.0	1	0.21	Bajo
Nitrato (NO ₃) [ppm]	-----	-----	-----	0.17	-----
Amonio [NH ₄]	-----	-----	-----	2.1	-----
Da [g/cm ³]	-----	-----	-----	1.43	Arcilla
Humedad [%]	-----	-----	-----	33.54	-----

Fuente: Propia

Referencias: Toma de muestras e interpretación de análisis de fertilidad de suelo. SISTEMA INTERACTIVO DE APOYO AL RIEGO (SIAR)

Rango de clasificación aproximada de nutrientes en suelos de Nicaragua. QUINTANA et al, 1983

Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USDA)

ANEXO 14. Porcentajes de humedad del suelo - Lote D

SECUENCIA DE MUESTRAS SUELO ARCILLOSO								
Profundidad (cm)	No Tara	Peso Tara (gr)	T + S.H (gr)	S.H (gr)	T + S.S (gr)	S.S (gr)	H2O (gr)	Humedad (%)
Muestra No 1 Fecha de Muestreo 02/05/11 Hora: 11:20 LOTE D								
0-15	A-05	41.66	366.15	324.49	254.95	213.29	111.20	52.14
15-30	A-01	41.95	336.45	294.50	241.25	199.30	95.20	47.77
30-45	K-30	41.45	356.25	314.80	255.7	214.25	100.55	46.93
Muestra No 2 Fecha de Muestreo 03/05/11 Hora: 11:20 LOTE D								
0-15	K-30	41.45	371.35	329.90	262.55	221.10	108.80	49.21
15-30	A-05	41.66	385.05	343.39	279.5	237.84	105.55	44.38
30-45	A-01	41.95	390.75	348.80	285	243.05	105.75	43.51
Muestra No 3 Fecha de Muestreo 04/05/11 Hora: 11:20 LOTE D								
0-15	K-30	41.45	386.9	345.45	269.10	227.65	117.80	51.75
15-30	A-05	41.66	420.85	379.19	301.80	260.14	119.05	45.76
30-45	A-01	41.95	374.85	332.9	272.30	230.35	102.55	44.52
Muestra No 4 Fecha de Muestreo 05/05/11 Hora: 11:20 LOTE D								
0-15	K-30	41.45	359.5	318.05	258.15	216.7	101.35	46.77
15-30	A-05	41.66	341.6	299.94	245.3	203.64	96.3	47.29
30-45	A-01	41.95	393.25	351.3	280	238.05	113.25	47.57

Fuente: Propia

SECUENCIA DE MUESTRAS SUELO ARCILLO - LIMOSO								
Profundidad (cm)	No Tara	Peso Tara (gr)	T + S.H (gr)	S.H (gr)	T + S.S (gr)	S.S (gr)	H2O (gr)	Humedad (%)
Muestra No 1 Fecha de Muestreo 02/05/11, Hora: 10:00 am LOTE D								
0-15	A-18	41	356.20	315.20	266.6	225.6	89.60	39.72
15-30	A-22	41	286	245.00	218.95	177.95	67.05	37.68
30-45	A-19	42	317.20	275.20	240.4	198.4	76.80	38.71
Muestra No 2 Fecha de Muestreo: 03/05/11. Hora: 10:00 am LOTE D								
0-15	A-19	42	361.10	319.10	278.65	236.65	82.45	34.84
15-30	A-18	41	378.30	337.30	286.40	245.40	91.90	37.45
30-45	A-22	41	355.85	314.85	268.80	227.80	87.05	38.21
Muestra No 3 Fecha de Muestreo: 04/05/11. Hora: 10:00 am LOTE D								
0-15	A-19	42	415.75	373.75	318.5	276.50	97.25	35.17
15-30	A-18	41	412.10	371.10	314.3	273.30	97.8	35.78
30-45	A-22	41	414.15	373.15	310.45	269.45	103.7	38.49
Muestra No 4 Fecha de Muestreo: 05/05/11. Hora: 10:00 am LOTE D								
0-15	A-19	42	392.45	350.45	303.65	261.65	88.8	33.94
15-30	A-18	41	374.65	333.65	286.3	245.3	88.35	36.02
30-45	A-22	41	376.80	335.80	280.55	239.55	96.25	40.18

Fuente: Propia

ANEXO 15. Cálculo de velocidad de Infiltración Suelo Arcilloso

SUELO ARCILLOSO, CILINDRO "A", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	11:36	0	0	30	0	0	0
1	11:37	1	1	26.5	3.5	0.5	30
2	11:38	1	2	25.4	1.1	1.6	48
3	11:39	1	3	24.2	1.2	2.8	56
4	11:44	5	8	21.5	2.7	5.5	41.25
5	11:49	5	13	20.2	1.3	6.8	31.38
6	11:54	5	18	19.2	1	7.8	26.00
7	12:04	10	28	17.8	1.4	9.2	19.71
8	12:14	10	38	17	0.8	10	15.79
9	12:29	15	53	15.6	1.4	11.4	12.91
10	12:44	15	68	14.6	1	12.4	10.94
11	01:14	30	98	13.2	1.4	13.8	8.45
12	01:44	30	128	12.4	0.8	14.6	6.84
13	02:14	30	158	11.5	0.9	15.5	5.89
14	02:44	30	188	11	0.5	16	5.11
15	03:14	30	218	10.1	0.9	16.9	4.65
16	03:44	30	248	9.5	0.6	17.5	4.23
17	04:15	30	278	9	0.5	18	3.88

SUELO ARCILLOSO, CILINDRO "B", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	11:36	0	0	30	0	0	0
1	11:37	1	1	27.8	2.2	2.2	132.00
2	11:38	1	2	25.3	2.5	4.7	141.00
3	11:39	1	3	23.3	2	6.7	134.00
4	11:44	5	8	14.5	8.8	15.5	116.25
5	11:49	5	13	9.7	4.8	20.3	93.69
6	11:54	5	18	5.8 (20 cm)	3.9	24.2	80.67
7	12:04	10	28	18.6	6.4	30.6	65.57
8	12:14	10	38	11.3	7.3	37.9	59.84
9	12:29	15	53	5 (26 cm)	6.3	44.2	50.04
10	12:44	15	68	17.2	8.8	53	46.76
11	01:14	30	98	3.5 (25 cm)	13.7	66.7	40.84
12	01:44	30	128	10.4	14.6	81.3	38.11
13	02:14	30	158	6.5 (25 cm)	3.9	85.2	32.35
14	02:44	30	188	12 (25 cm)	13	98.2	31.34
15	03:14	30	218	3 (25 cm)	22	120.2	33.08
16	03:44	30	248	13	12	132.2	31.98
17	04:15	30	278	8	5	137.2	29.61

DATOS DEL CILINDRO "B" NO FUERON TOMADOS EN CUENTA, POR COMPORTAMIENTO ANORMAL DEL AGUA EN EL SUELO

ANEXO 15. Continuación

SUELO ARCILLOSO, CILINDRO "C", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	11:36	0	0	30	0	0	0
1	11:37	1	1	29	1	1	60.00
2	11:38	1	2	28.5	0.5	1.5	45.00
3	11:39	1	3	27.8	0.7	2.2	44.00
4	11:44	5	8	26.3	1.5	3.7	27.75
5	11:49	5	13	25	1.3	5	23.08
6	11:54	5	18	24	1	6	20.00
7	12:04	10	28	22.4	1.6	7.6	16.29
8	12:14	10	38	20.9	1.5	9.1	14.37
9	12:29	15	53	19	1.9	11	12.45
10	12:44	15	68	17.4	1.6	12.6	11.12
11	01:14	30	98	14.9	2.5	15.1	9.24
12	01:44	30	128	12	2.9	18	8.44
13	02:14	30	158	10	2	20	7.59
14	02:44	30	188	8	2	22	7.02
15	03:14	30	218	6.5 (20 cm)	1.5	23.5	6.47
16	03:44	30	248	17.7	2.3	25.8	6.24
17	04:15	30	278	15.8	1.9	27.7	5.98

SUELO ARCILLOSO LOTE "D"	
Infiltracion Acumulada Promedio (cm)	Velocidad de Infiltracion Promedio (cm/hora)
0.0	0.00
0.8	45.00
1.6	46.50
2.5	50.00
4.6	34.50
5.9	27.23
6.9	23.00
8.4	18.00
9.6	15.08
11.2	12.68
12.5	11.03
14.5	8.85
16.3	7.64
17.8	6.74
19.0	6.06
20.2	5.56
21.7	5.24
22.9	4.93

ANEXO 15. Continuación

Modelo ajustado para calculo de la velocidad de infiltracion suelo arcilloso

<i>n</i>	Tiemp Acumulado (min) t	Vel. Infiltracion promedio (cm/h)	Log t Xi	Log l Yi	Xi ²	Xi*Yi
1	1	45.00	0.00000	1.65321	0.00000	0.00000
2	2	46.50	0.30103	1.66745	0.09062	0.50195
3	3	50.00	0.47712	1.69897	0.22764	0.81061
4	8	34.50	0.90309	1.53782	0.81557	1.38879
5	13	27.23	1.11394	1.43506	1.24087	1.59858
6	18	23.00	1.25527	1.36173	1.57571	1.70934
7	28	18.00	1.44716	1.25527	2.09427	1.81658
8	38	15.08	1.57978	1.17837	2.49572	1.86157
9	53	12.68	1.72428	1.10309	2.97313	1.90204
10	68	11.03	1.83251	1.04255	3.35809	1.91049
11	98	8.85	1.99123	0.94679	3.96498	1.88528
12	128	7.64	2.10721	0.88313	4.44033	1.86094
13	158	6.74	2.19866	0.82869	4.83409	1.82201
14	188	6.06	2.27416	0.78275	5.17179	1.78009
15	218	5.56	2.33846	0.74505	5.46838	1.74226
16	248	5.24	2.39445	0.71916	5.73340	1.72199
17	278	4.93	2.44404	0.69299	5.97335	1.69371
	Sumatoria	328.0	26.4	19.5	50.5	26.0
	Media		1.55191	1.14895		

ANEXO 15. Continuación

Tiempo Acumulado (min)	Infiltración Ajustada (cm/hora)
1	70.99
2	51.88
3	43.18
8	27.70
13	22.24
18	19.19
28	15.72
38	13.69
53	11.77
68	10.52
98	8.92
128	7.90
158	7.18
188	6.64
218	6.21
248	5.86
278	5.56

$$I = kt^n$$

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} = -0.4525 \quad K = \text{antilog } b_0 = 70.9933$$

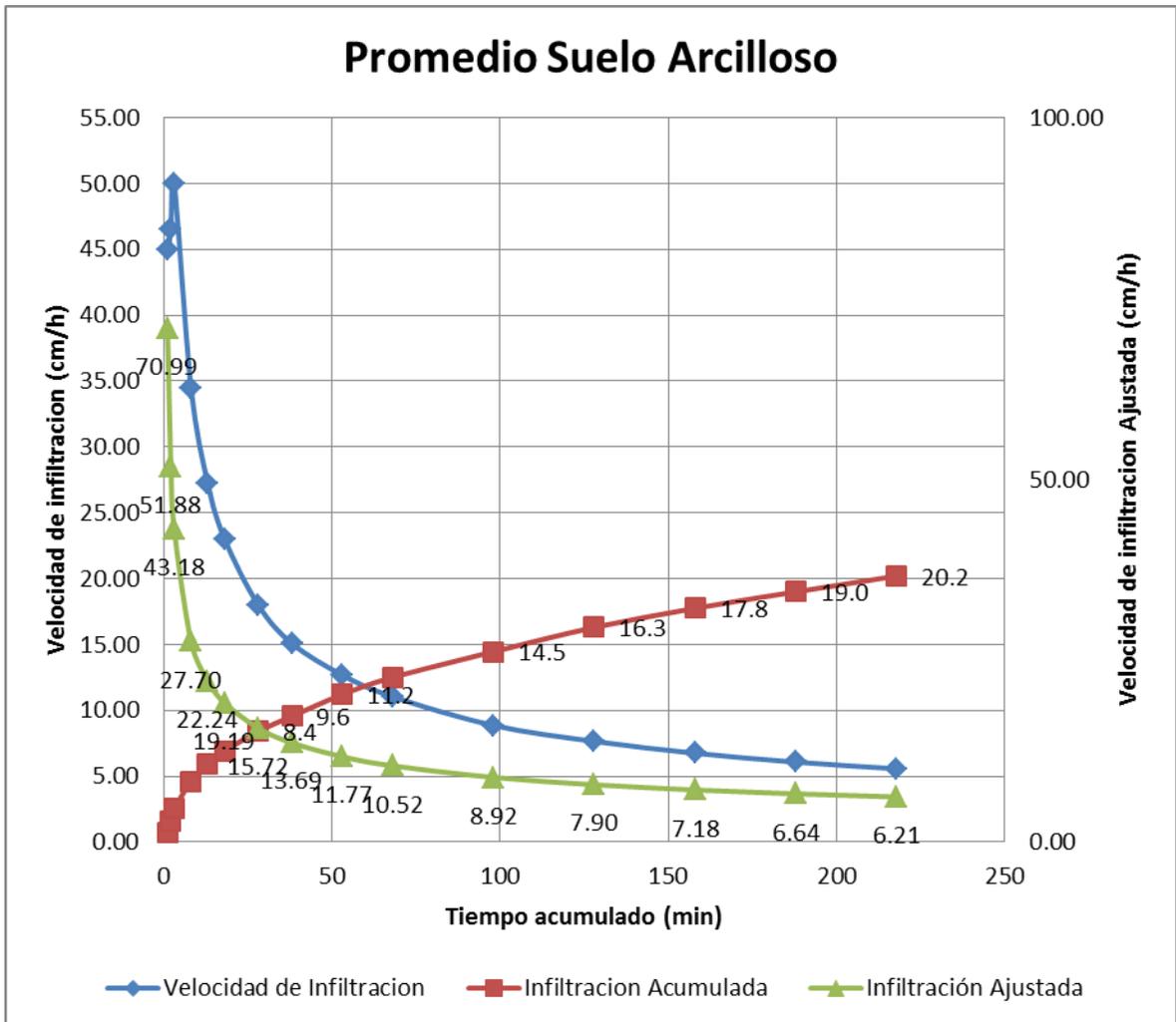
$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} = 1.8512 \quad n = b_1 = -0.4525$$

$$IB = k (-600 * n)^n =$$

Infiltracion Basica (cm/h)=	5.62
------------------------------------	-------------

ANEXO 15. Continuación

Velocidad de infiltración Promedio y Ajustada, Suelo Arcilloso Lote D, FRUTNCSA



Fuente: Propia

ANEXO 16. Cálculo de velocidad de Infiltración Suelo Arcillo Limoso

SUELO ARCILLO-LIMOSO, CILINDRO "A", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	01:00	0	0	35	0	0	0.00
1	01:01	1	1	34	1	1	60.00
2	01:02	1	2	33.5	0.5	1.5	30.00
3	01:03	1	3	33	0.5	2	30.00
4	01:08	5	8	31.6	1.4	3.4	16.80
5	01:13	5	13	30.6	1	4.4	12.00
6	01:23	10	23	29.1	1.5	5.9	9.00
7	01:33	10	33	27.8	1.3	7.2	7.80
8	01:48	15	48	26.1	1.7	8.9	6.80
9	02:03	15	63	24.5	1.6	10.5	6.40
10	02:33	30	93	22.1	2.4	12.9	4.80
11	03:03	30	123	19.5	2.6	15.5	5.20
12	03:33	30	153	17.1	2.4	17.9	4.80
13	04:03	30	183	14.6	2.5	20.4	5.00

SUELO ARCILLO-LIMOSO, CILINDRO "B", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	01:00	0	0	35	0	0	0
1	01:01	1	1	33.5	1.5	1.5	90.00
2	01:02	1	2	32.8	0.7	2.2	42.00
3	01:03	1	3	32.5	0.3	2.5	18.00
4	01:08	5	8	30.8	1.7	4.2	20.40
5	01:13	5	13	29.7	1.1	5.3	13.20
6	01:23	10	23	27.9	1.8	7.1	10.80
7	01:33	10	33	26	1.9	9	11.40
8	01:48	15	48	23.5	2.5	11.5	10.00
9	02:03	15	63	21.6	1.9	13.4	7.60
10	02:33	30	93	17.4	4.2	17.6	8.40
11	03:03	30	123	14	3.4	21	6.80
12	03:33	30	153	10.9	3.1	24.1	6.20
13	04:03	30	183	7.6	3.3	27.4	6.60

ANEXO 16. Continuación

SUELO ARCILLO-LIMOSO, CILINDRO "C", FINCA EL RODEO LOTE D, 11/04/2011							
Lectura No	Hora	Intervalo de medicion (min)	Tiempo Acumulado (min)	Lecturas Parciales (cm)	Infiltracion Parcial (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/hora)
0	01:00	0	0	35	0	0	0
1	01:01	1	1	34.3	0.7	0.7	42.00
2	01:02	1	2	33.9	0.4	1.1	24.00
3	01:03	1	3	33.2	0.7	1.8	42.00
4	01:08	5	8	31.9	1.3	3.1	15.60
5	01:13	5	13	31	0.9	4	10.80
6	01:23	10	23	30.9	0.1	4.1	0.60
7	01:33	10	33	29	1.9	6	11.40
8	01:48	15	48	27.9	1.1	7.1	4.40
9	02:03	15	63	26.8	1.1	8.2	4.40
10	02:33	30	93	24.9	1.9	10.1	3.80
11	03:03	30	123	22.9	2	12.1	4.00
12	03:33	30	153	20.7	2.2	14.3	4.40
13	04:03	30	183	18.7	2	16.3	4.00

Infiltracion Acumulada Promedio (cm)	Velocidad de Infiltracion Promedio (cm)
0.00	0.00
1.07	64.00
1.60	32.00
2.10	30.00
3.57	17.60
4.57	12.00
5.70	6.80
7.40	10.20
9.17	7.07
10.70	6.13
13.53	5.67
16.20	5.33
18.77	5.13
21.37	5.20

ANEXO 16. Continuación

<i>n</i>	Tiemp Acumulado (min) t	Vel. Infiltracion promedio (cm/h) I	Log t Xi	Log I Yi	Xi^2	Xi*Yi
1	1	64.0	0.00000	1.80618	0.00000	0.00000
2	2	32.0	0.30103	1.50515	0.09062	0.45310
3	3	30.0	0.47712	1.47712	0.22764	0.70477
4	8	17.6	0.90309	1.24551	0.81557	1.12481
5	13	12.0	1.11394	1.07918	1.24087	1.20215
6	23	6.8	1.36173	0.83251	1.85430	1.13365
7	33	10.2	1.51851	1.00860	2.30588	1.53157
8	48	7.1	1.68124	0.84921	2.82657	1.42773
9	63	6.1	1.79934	0.78770	3.23763	1.41733
10	93	5.7	1.96848	0.75333	3.87493	1.48291
11	123	5.3	2.08991	0.72700	4.36770	1.51936
12	153	5.1	2.18469	0.71040	4.77288	1.55200
13	183	5.2	2.26245	0.71600	5.11868	1.61992
	Sumatoria	207.1	17.66	13.50	30.73	15.17
			Media	1.35858	1.03830	

Tiempo Acumulado (min)	Infiltración Ajustada (cm/hora)
1	47.55
2	34.32
3	28.36
8	17.88
13	14.23
23	10.88
33	9.19
48	7.70
63	6.78
93	5.64
123	4.95
153	4.47
183	4.10

$$I = kt^n$$

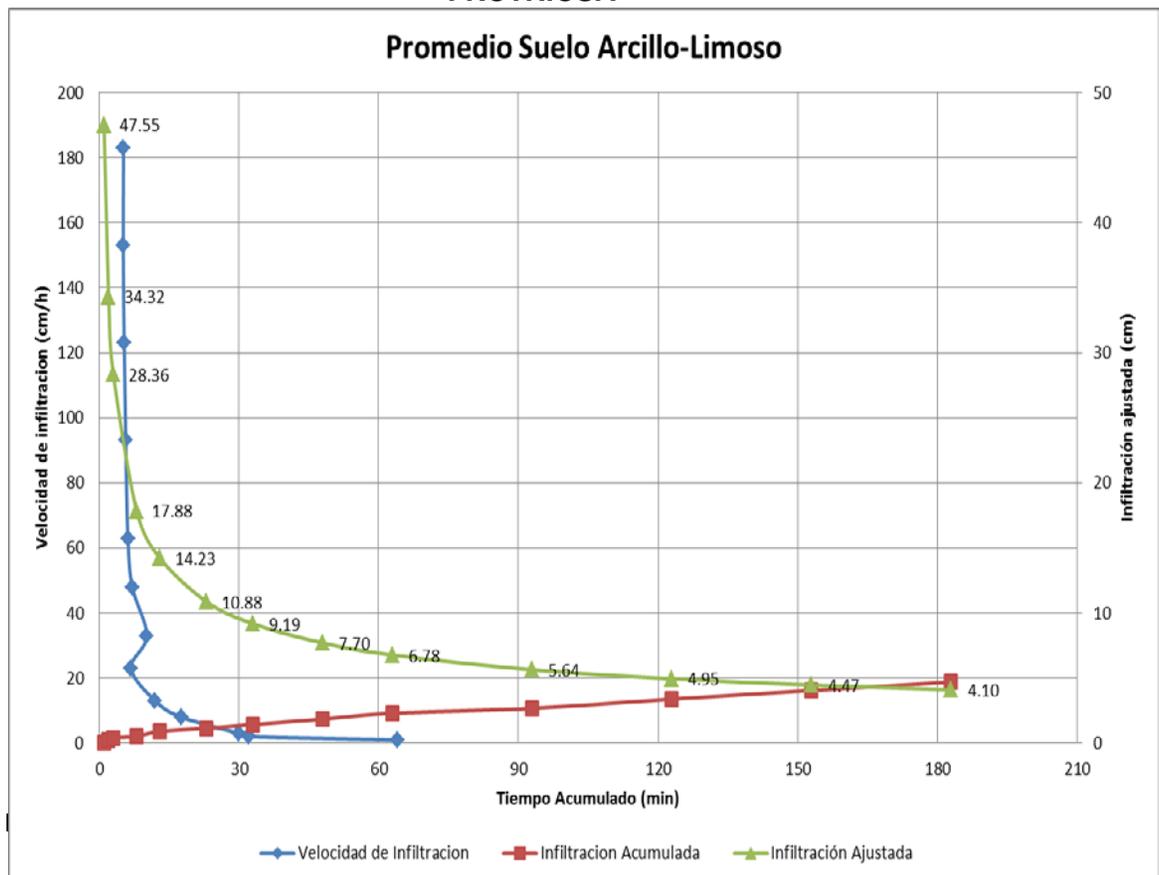
ANEXO 16. Continuación

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}} = \boxed{-0.4702} \quad K = \text{antilog } b_0 = \boxed{47.5479}$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} = \boxed{1.6771} \quad n = b_1 = \boxed{-0.4702}$$

$$IB = k (-600 * n)^n = \boxed{3.3487 \text{ cm/hr}}$$

Velocidad de infiltración Promedio y Ajustada, Suelo Arcillo-Limoso Lote D, FRUTNICSA



**ANEXO 17. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1959 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: temperatura media máxima (°C)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	31.8	33.1	34.0	34.9	36.4	32.1	33.2	33.6	33.5	32.2	31.9	32.4	33.3
1998	33.7	34.2	35.6	36.8	36.0	34.0	32.8	33.8	32.0	30.6	31.7	31.9	33.6
1999	32.1	32.2	33.3	35.1	33.6	33.1	32.0	32.7	31.1	30.6	31.1	31.3	32.3
2000	31.4	32.7	33.9	35.3	34.2	32.8	33.0	33.5	31.7	31.9	32.6	32.6	33.0
2001	32.3	32.8	34.2	35.5	35.0	32.6	32.5	33.3	32.0	32.3	31.9	33.1	33.1
2002	33.3	33.6	34.7	35.5	33.9	32.5	32.0	33.0	32.4	32.2	31.8	32.7	33.1
2003	33.2	34.4	34.9	35.8	34.5	31.8	32.0	32.7	33.0	32.1	32.0	32.2	33.2
2004	32.4	33.8	34.7	35.6	33.9	32.1	32.2	33.0	32.7	32.3	32.0	32.5	33.1
2005	32.7	33.4	35.8	36.3	33.9	31.9	32.4	32.7	32.2	30.6	31.4	32.4	33.0
2006	32.6	33.1	34.5	35.9	35.4	32.9	33.1	33.8	33.8	32.8	32.4	33.1	33.6
2007	33.4	34.3	35.6	35.9	34.9	33.1	32.4	32.4	31.9	30.7	31.6	31.9	33.2
2008	32.2	33.4	34.6	35.5	34.1	32.2	31.6	32.1	32.1	31.0	31.6	32.3	32.7
2009	32.7	33.0	34.1	35.6	35.3	32.6	32.5	33.4	34.2	33.0	32.1	33.2	33.5
2010	33.0	34.7	35.5	35.7	32.8	32.4	-	-	-	-	-	-	34.0
Suma	1637.7	1674.4	1745.0	1760.6	1713.7	1637.6	1574.3	1639.6	1613.9	1595.3	1576.2	1571.6	1687.4
Media	32.1	32.8	34.2	34.5	34.3	32.1	31.5	32.1	31.6	31.3	31.5	31.4	32.5
Máximo	33.7	34.7	35.8	36.8	36.4	34.2	33.2	33.8	34.2	33.0	33.2	33.2	403.3
Mínimo	30.5	20.7	32.5	17.8	32.5	30.2	20.9	30.4	20.0	20.1	29.7	19.9	155.5

**ANEXO 18. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico Anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1959 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: temperatura media (°C)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	25.7	26.8	27.6	28.7	29.9	26.7	27.7	27.7	27.7	27.0	26.8	26.5	27.4
1998	27.5	27.9	29.5	30.3	30.0	28.2	27.5	27.7	27.0	26.1	26.2	26.2	27.8
1999	26.2	26.3	27.0	28.7	28.0	27.4	26.6	26.8	26.2	25.9	25.8	25.6	26.7
2000	25.5	26.5	27.3	28.7	28.3	27.4	27.0	27.5	26.4	26.3	26.6	26.4	27.0
2001	26.2	26.6	27.7	29.2	29.2	27.3	26.9	27.5	26.6	27.0	26.4	27.2	27.3
2002	26.9	27.1	28.3	29.1	28.5	27.5	27.0	27.4	27.1	26.7	26.3	26.7	27.4
2003	26.9	28.0	28.5	29.6	28.8	26.8	26.9	27.0	27.3	26.9	26.8	26.3	27.5
2004	26.3	27.1	28.3	29.4	28.3	27.2	26.7	27.3	27.1	27.0	26.5	26.5	27.3
2005	26.6	27.0	29.5	30.1	28.5	27.0	27.4	27.1	26.7	26.0	26.3	26.4	27.4
2006	26.4	26.7	27.9	29.4	29.2	27.6	27.5	28.0	27.7	26.6	26.4	27.2	27.5
2007	27.1	27.8	29.1	29.6	28.8	27.8	27.1	27.0	26.6	26.2	26.4	26.2	27.5
2008	26.4	27.0	28.1	29.3	28.6	26.9	26.7	27.0	26.9	26.3	26.4	26.4	27.2
2009	26.6	27.0	27.8	29.3	29.0	27.5	27.3	27.4	28.1	27.4	26.8	27.1	27.6
2010	27.0	28.5	29.0	29.7	28.0	27.3	-	-	-	-	-	-	28.2
Suma	1326.9	1393.1	1454.1	1507.1	1460.8	1403.0	1356.0	1362.4	1349.7	1339.5	1328.7	1319.0	1401.9
Media	26.0	26.8	28.0	29.0	28.6	27.0	26.6	26.7	26.5	26.3	26.1	25.9	27.0
Máximo	27.5	28.5	29.5	30.3	30.3	28.5	27.7	28.0	28.1	27.4	27.3	27.6	334.1
Mínimo	24.5	25.3	26.5	27.6	27.1	24.8	24.6	25.5	25.0	25.1	24.6	23.8	169.5

**ANEXO 19. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1959 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: temperatura media mínima (°C)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	20.3	21.1	21.6	22.8	24.2	23.3	23.8	23.5	23.5	23.2	23.0	21.4	22.6
1998	22.0	22.0	23.4	23.9	24.9	24.4	23.5	23.5	23.3	23.1	22.1	21.2	23.1
1999	20.8	21.0	21.3	22.7	23.4	23.4	22.5	23.1	23.1	22.3	21.3	20.4	22.1
2000	19.8	20.8	20.9	22.7	23.6	23.7	22.9	23.3	22.6	21.9	22.0	20.8	22.1
2001	20.5	21.3	21.4	23.4	24.4	23.3	23.2	23.8	22.9	23.3	21.7	22.0	22.6
2002	21.5	21.5	22.4	23.1	24.2	24.0	23.7	23.5	23.4	23.0	21.8	21.5	22.8
2003	21.4	22.2	22.5	24.0	24.5	23.5	23.6	23.2	23.4	23.5	22.6	21.1	23.0
2004	20.9	21.2	22.8	23.7	24.1	23.6	22.8	23.4	23.4	23.1	21.8	21.4	22.7
2005	21.1	21.1	23.8	24.6	24.5	24.0	23.7	23.5	23.6	23.0	22.3	21.7	23.1
2006	21.5	21.5	22.1	23.4	24.4	24.0	23.9	24.0	23.4	23.7	21.7	22.2	23.0
2007	21.9	21.7	23.0	24.5	24.6	24.1	23.4	23.4	23.2	23.0	22.1	21.0	23.0
2008	21.1	21.3	22.0	23.5	23.8	23.4	23.1	23.4	23.4	23.4	21.9	21.7	22.7
2009	21.2	21.7	21.8	23.6	24.3	23.9	23.9	23.8	23.8	23.6	22.7	22.4	23.0
2010	21.5	23.3	23.2	24.7	24.3	24.0	-	-	-	-	-	-	23.5
Suma	1040.5	1053.6	1104.6	1152.4	1185.4	1189.2	1135.5	1162.6	1150.5	1136.5	1076.2	1027.4	1147.2
Media	20.4	20.7	21.7	22.6	23.7	23.3	22.7	22.8	22.6	22.3	21.5	20.5	22.1
Máximo	22.0	23.3	23.8	24.7	24.9	24.4	23.9	24.0	23.8	23.7	23.0	22.4	27.3
Mínimo	18.6	12.0	19.5	11.7	22.1	21.3	15.0	21.3	14.2	13.9	19.8	12.4	108.5

**ANEXO 20. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1958 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: viento medio 10m (m/seg)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	1.2	2.0	2.1	1.5	2.1	0.7	1.3	1.2	0.8	0.7	0.9	1.4	1.3
1998	1.7	-	-	1.8	1.2	1.0	1.0	1.0	0.7	0.7	0.9	1.2	1.1
1999	1.4	1.5	1.5	1.8	1.0	1.0	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	1.5	1.2
2000	1.9	2.4	2.7	3.3	2.6	2.1	2.0	2.0	1.4	1.4	1.8	2.7	2.2
2001	3.5	4.3	3.8	4.6	3.0	2.7	2.5	2.6	1.7	1.6	2.2	2.7	2.9
2002	3.5	4.0	4.4	4.4	3.3	2.1	2.7	2.9	1.9	2.0	2.5	3.1	3.1
2003	3.7	3.7	3.4	3.5	3.0	2.0	2.4	2.4	1.8	1.6	1.9	2.9	2.7
2004	3.3	3.8	4.8	3.8	3.1	2.7	2.6	2.5	1.7	1.5	2.2	3.1	2.9
2005	3.8	4.1	3.5	3.3	2.5	1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	1.7	2.5	2.6
2006	3.3	4.0	4.1	3.8	3.2	2.2	2.3	2.3	2.0	1.7	1.9	2.7	2.8
2007	4.1	3.9	4.1	3.2	2.4	2.1	2.2	1.5	1.6	1.0	1.7	2.0	2.5
2008	3.0	3.0	3.0	3.0	2.3	1.7	1.5	1.5	1.4	1.4	1.7	2.6	2.2
2009	3.0	4.0	4.1	4.2	2.8	1.8	2.4	2.5	2.3	1.8	1.8	2.4	2.8
2010	3.6	4.1	4.1	3.7	2.7	1.9	-	-	-	-	-	-	3.4
Suma	145.7	166.3	170.1	165.0	126.4	94.8	108.7	98.0	76.3	64.2	78.6	115.8	120.2
Media	2.9	3.2	3.3	3.1	2.4	1.8	2.1	1.9	1.5	1.2	1.5	2.3	2.3
Máximo	4.9	6.5	5.8	5.7	4.6	3.7	3.8	3.7	2.9	2.7	3.2	4.0	47.6
Mínimo	0.9	1.1	0.9	0.9	0.4	0.2	0.7	0.5	0.3	0.2	0.2	0.7	8.5

ANEXO 21

INSTITUTO NICARAGUENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCION GENERAL DE METEOROLOGIA
RESUMEN METEOROLOGICO ANUAL

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA

Código: 69 027

Años: 1958 - 2010

Parámetro: RADIACION SOLAR (cal/cm² * día)

Latitud: 12° 08' 36" N

Longitud: 86° 09' 49" W

Elevación: 56 msnm

Tipo: HMP

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
1987	382	378	462	420	422	414	353	408	443	422	364	330	400
1988	382	400	471	471	374	371	316	361	313	348	324	331	372
1989	352	428	450	411	377	336	338	379	335	361	308	294	364
1990	301	357	393		376	350	378	381	386	374	348		364
Suma	1417.0	1563.0	1776.0	1302.0	1549.0	1471.0	1385.0	1529.0	1477.0	1505.0	1344.0	955.0	1500.0
Media	354.3	390.8	444.0	434.0	387.3	367.8	346.3	382.3	369.3	376.3	336.0	318.3	375.0
Máximo	382.0	428.0	471.0	471.0	422.0	414.0	378.0	408.0	443.0	422.0	364.0	331.0	400.0
Mínimo	301.0	357.0	393.0	411.0	374.0	336.0	316.0	361.0	313.0	348.0	308.0	294.0	364.0

**ANEXO 22. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1958 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: tensión de vapor de agua (mb)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	17.0	16.8	16.4	17.7	17.9	21.1	20.9	20.9	21.2	21.2	20.6	18.0	19.1
1998	17.5	-	-	17.7	19.7	21.2	20.6	21.2	21.8	21.7	20.1	18.2	20.0
1999	17.3	16.6	16.3	17.4	19.9	20.2	20.2	20.8	21.3	20.5	18.9	16.3	18.8
2000	15.3	15.2	17.0	18.6	19.9	20.6	19.9	20.5	21.4	20.1	19.2	17.1	18.7
2001	15.8	16.3	16.2	17.6	19.7	20.0	20.3	21.0	20.9	21.3	18.7	18.3	18.8
2002	17.1	16.7	16.5	17.0	19.3	21.4	21.1	20.3	21.5	20.8	19.2	18.2	19.1
2003	16.3	16.9	18.4	18.7	20.4	21.5	20.9	20.7	21.2	21.5	20.2	17.5	19.5
2004	17.1	16.9	17.2	17.9	20.1	20.9	20.7	21.3	21.4	21.4	19.0	17.2	19.2
2005	16.0	15.6	18.2	18.6	20.9	22.3	21.6	21.5	21.6	21.2	20.0	18.5	19.7
2006	17.7	16.8	16.9	18.0	20.2	21.4	21.3	21.3	21.1	22.1	19.7	19.1	19.6
2007	17.4	17.2	17.3	19.4	20.5	21.4	21.0	21.2	21.0	21.0	19.1	17.5	19.5
2008	16.7	17.0	17.0	17.5	19.1	20.4	20.4	20.8	21.3	21.1	18.6	17.4	18.9
2009	17.5	16.7	16.2	17.8	20.0	20.9	20.9	20.7	20.8	21.0	20.2	18.8	19.3
2010	17.0	18.4	18.0	20.3	21.6	21.9	-	-	-	-	-	-	19.5
Suma	553.4	468.6	493.6	541.4	581.8	667.9	580.1	590.5	594.3	641.9	576.5	527.8	666.5
Media	19.1	16.7	17.0	18.0	20.1	22.3	20.7	21.1	21.2	22.1	19.9	18.2	21.5
Máximo	78.6	18.4	18.7	20.3	21.8	38.4	21.6	26.5	21.9	52.3	25.8	24.0	241.2
Mínimo	15.3	15.2	16.0	16.6	17.9	20.0	19.9	20.1	20.5	20.1	18.5	16.3	0.0

**ANEXO 23. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - Dirección General de Meteorología
Resumen Meteorológico anual**

Estación: - AEROPUERTO INTERNACIONAL MANAGUA / MANAGUA	Latitud: 12° 08' 36" N
Código: 69 027	Longitud: 86° 09' 49" W
Años: 1959 – 2010	Elevación: 56 msnm
Parámetro: presión ane (mb)	Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
1997	1006.7	1005.1	1005.4	1004.1	1003.6	1003.6	1003.9	1004.4	1003.4	1003.4	1003.6	1004.1	1004.3
1998	1003.5	1004.0	1003.5	1003.6	1003.6	1004.4	1005.1	1004.6	1003.8	1003.4	1004.6	1005.5	1004.1
1999	1005.5	1006.1	1004.7	1004.4	1004.4	1004.5	1005.4	1004.7	1004.0	1004.4	1004.8	1006.4	1004.9
2000	1006.7	1007.6	1005.2	1005.2	1004.5	1004.9	1004.9	1004.5	1003.8	1004.6	1004.3	1005.4	1005.1
2001	1006.6	1005.6	1005.1	1005.2	1003.9	1004.8	1005.1	1004.7	1004.4	1003.7	1004.8	1004.1	1004.8
2002	1006.1	1006.3	1005.4	1005.0	1003.9	1004.2	1005.4	1004.3	1003.7	1003.2	1005.0	1005.3	1004.8
2003	1006.2	1004.8	1003.9	1004.1	1003.7	1004.1	1005.0	1005.0	1004.0	1003.4	1003.9	1005.1	1004.4
2004	1006.4	1005.9	1005.0	1004.8	1004.3	1004.8	1004.9	1004.8	1003.7	1004.0	1004.6	1005.7	1004.9
2005	1006.5	1005.7	1004.7	1003.8	1003.4	1002.9	1004.5	1004.3	1004.2	1003.6	1004.5	1005.5	1004.5
2006	1005.5	1005.9	1005.5	1004.1	1004.2	1004.0	1004.8	1003.9	1004.4	1003.6	1004.0	1005.5	1004.6
2007	1005.5	1005.9	1004.6	1004.4	1003.7	1004.2	1005.1	1004.4	1004.5	1003.5	1004.2	1005.9	1004.7
2008	1005.9	1006.3	1005.6	1004.0	1003.5	1004.7	1005.2	1004.1	1003.6	1101.2	1004.9	1006.2	1012.9
2009	1006.5	1006.1	1005.5	1005.0	1004.0	1004.0	1004.6	1004.3	1003.9	1003.2	1003.3	1004.4	1004.6
2010	1004.7	1003.4	1003.9	1003.6	1003.8	1004.9	-	-	-	-	-	-	1004.1
Suma	51238.6	52233.8	52171.7	52134.3	51142.8	52165.0	51193.9	50144.8	51229.0	51240.7	51151.1	51217.6	52191.5
Media	1004.7	1004.5	1003.3	1002.6	1002.8	1003.2	1003.8	1002.9	1004.5	1004.7	1003.0	1004.3	1003.7
Máximo	1007.3	1007.6	1006.2	1005.2	1004.9	1005.2	1005.9	1005.5	1135.0	1101.2	1005.5	1006.4	12164.5
Mínimo	1001.3	1001.6	974.1	966.6	1000.4	1000.7	1001.4	972.8	947.6	1000.4	979.8	1001.6	6024.3

ANEXO 24. Cálculo de Evapotranspiración mediante Penman-Monteith

Aquí se muestra el cálculo solamente para el mes de Febrero.

DATOS METEOROLÓGICOS

UBICACIÓN: Nicaragua

LOCALIZACIÓN (*LATITUD*): 12°08'36"

ALTITUD (*z*): 56 msnm

PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (*T_{máx}*): 32.8 °C

PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (*T_{mín}*): 20.7 °C

PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA (*T_{med-ENE}*): 26.25 °C

PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA (*T_{med-FEB}*): 26.75 °C

PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA (*T_{med-MAR}*): 27.95 °C

PROMEDIO MENSUAL DE LA DURACIÓN DE LA INSOLACIÓN (*n*): 8.6 hrs/día

PROMEDIO MENSUAL DE LA PRESIÓN DE VAPOR DIARIA (*e_a*): 16.7 mb

$$e_a = 16.7 \text{ mb} \left[\frac{0.1 \text{ kpa}}{1 \text{ mb}} \right] = 1.670 \text{ kpa}$$

VELOCIDAD DEL VIENTO (*u_z*): 3.2 m/s ; con z = 10 m

$$U_2 = U_z \left\{ \frac{4.87}{\ln[(67.8)(z) - 5.42]} \right\}$$
$$U_2 = (3.2 \text{ m/s}) \left\{ \frac{4.87}{\ln[(67.8)(10 \text{ m}) - 5.42]} \right\}$$
$$U_2 = 2.393 \text{ m/s}$$

➤ **Temperatura Media**

$$T_{med} = \frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$T_{med} = \frac{32.8 \text{ }^{\circ}\text{C} + 20.7 \text{ }^{\circ}\text{C}}{2}$$

$$T_{med} = 26.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

➤ **Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (Δ)**

$$\Delta = \frac{4098 * \left\{ 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(T_{med})}{T_{med} + 237.3}\right] \right\}}{(T_{med} + 237.3)^2}$$

$$\Delta = \frac{4098 * \left\{ 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(26.75 \text{ }^{\circ}\text{C})}{26.75 \text{ }^{\circ}\text{C} + 237.3}\right] \right\}}{(26.75 \text{ }^{\circ}\text{C} + 237.3)^2}$$

$$\Delta = 0.207 \text{ Kpa / }^{\circ}\text{C}$$

➤ **Presión Atmosférica (P)**

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - (0.0065)(Z)}{293} \right]^{5.26}$$

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - (0.0065)(56)}{293} \right]^{5.26}$$

$$P = 100.6 \text{ Kpa}$$

➤ **Constante Psicométrica (γ)**

$$\gamma = (0.665 \times 10^{-3})(P)$$

$$\gamma = (0.665 \times 10^{-3})(100.6 \text{ Kpa})$$

$$\gamma = \mathbf{0.0669 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C}}$$

➤ **(1 + 0.34 U_2)**

$$1 + 0.34 U_2 = 1 + (0.34)(2.393 \text{ m/s})$$

$$\mathbf{1 + 0.34 U_2 = 1.814}$$

➤ $\left(\frac{\Delta}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} \right)$

$$\frac{\Delta}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} = \frac{0.207 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C}}{[0.207 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C} + (0.0669 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C})(1.814)]}$$

$$\frac{\Delta}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} = \mathbf{0.630}$$

➤ $\left(\frac{\gamma}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} \right)$

$$\frac{\gamma}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} = \frac{0.0669 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C}}{[0.207 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C} + (0.0669 \text{ Kpa} / ^\circ\text{C})(1.814)]}$$

$$\frac{\gamma}{[\Delta + (\gamma)(1 + 0.34 U_2)]} = \mathbf{0.204}$$

$$\rightarrow \left[\frac{900}{(T_{med} + 273)} \right] U_2$$

$$\left[\frac{900}{(T_{med} + 273)} \right] U_2 = \left[\frac{900}{(26.75^\circ\text{C} + 273)} \right] (2.393 \text{ m/s})$$

$$\left[\frac{900}{(T_{med} + 273)} \right] U_2 = 7.186$$

➤ Presión de vapor a saturación en función de la temperatura ($e^o(T)$)

$$e^o(T_{m\acute{a}x}) = 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(T_{m\acute{a}x})}{T_{m\acute{a}x} + 237.3}\right]$$

$$e^o(T_{m\acute{a}x}) = 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(32.8^\circ\text{C})}{32.8^\circ\text{C} + 237.3}\right]$$

$$e^o(T_{m\acute{a}x}) = 4.974 \text{ Kpa}$$

$$e^o(T_{m\acute{i}n}) = 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(T_{m\acute{i}n})}{T_{m\acute{i}n} + 237.3}\right]$$

$$e^o(T_{m\acute{i}n}) = 0.6108 * \exp\left[\frac{(17.27)(20.7^\circ\text{C})}{20.7^\circ\text{C} + 237.3}\right]$$

$$e^o(T_{m\acute{i}n}) = 2.442 \text{ Kpa}$$

➤ Presión de vapor a saturación para un período determinado (e_s)

$$e_s = \frac{[e^o(T_{m\acute{a}x}) + e^o(T_{m\acute{i}n})]}{2}$$

$$e_s = \frac{[4.974 \text{ Kpa} + 2.442 \text{ Kpa}]}{2}$$

$$e_s = 3.708 \text{ Kpa}$$

- **Presión real de vapor ($e_s - e_a$)**

$$e_s - e_a = 3.708 \text{ Kpa} - 1.670 \text{ Kpa}$$

$$e_s - e_a = 2.038 \text{ Kpa}$$

- **Latitud (φ)**

$$\text{Latitud} = 12^\circ 08' 36''$$

$$\text{Latitud} = 12.143^\circ$$

$$\varphi = \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) (\text{grados decimales})$$

$$\varphi = \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) (12.143^\circ)$$

$$\varphi = +0.212 \text{ rad}$$

J = 46 (Para el 15 de Febrero)

- **Distancia relativa inversa Tierra – Sol (d_r)**

$$d_r = 1 + \left\{ 0.033 * \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (J) \right] \right\}$$

$$d_r = 1 + \left\{ 0.033 * \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (46) \right] \right\}$$

$$d_r = 1.023$$

- **Declinación Solar (δ)**

$$\delta = 0.409 * \text{sen} \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (J) - 1.39 \right]$$

$$\delta = 0.409 * \text{sen} \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) (46) - 1.39 \right]$$

$$\delta = -0.230 \text{ rad}$$

➤ **Ángulo horario al ocaso (ω_s)**

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)]$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(+0.212 \text{ rad}) \tan(-0.230 \text{ rad})]$$

$$\omega_s = 1.520 \text{ rad}$$

➤ **[$\text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta)$]**

$$[\text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta)] = [\text{sen}(+0.212 \text{ rad}) \text{sen}(-0.230 \text{ rad})]$$

$$[\text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta)] = -0.048$$

➤ **[$\text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta)$]**

$$[\text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta)] = [\text{cos}(+0.212 \text{ rad}) \text{cos}(-0.230 \text{ rad})]$$

$$[\text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta)] = 0.952$$

➤ **Radiación Extraterrestre (R_a)**

$$R_a = \left(\frac{24 * 60}{\pi} \right) (G_{sc}) (d_r) \{ \omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\omega_s) \}$$

$$R_a = \left(\frac{24 * 60}{\pi} \right) (0.082 \text{ MJ}/m^2 \text{ min}) (1.023) \{ (1.520 \text{ rad}) (-0.048) + (0.952) \text{sen}(1.520 \text{ rad}) \}$$

$$R_a = 33.752 \text{ MJ} / m^2 \text{ día}$$

- **Máximo de horas de sol durante el día (N)**

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right)(\omega_s)$$

$$N = \left(\frac{24}{\pi}\right)(1.520 \text{ rad})$$

$$N = 11.612 \text{ hrs}$$

- **Fracción de Insolación $\left(\frac{n}{N}\right)$**

$$\frac{n}{N} = \frac{8.6 \text{ hrs}}{11.612 \text{ hrs}}$$

$$\frac{n}{N} = 0.741$$

- **Radiación Solar (R_s)**

$$R_s = \left[a_s + (b_s) \left(\frac{n}{N}\right) \right] [R_a]$$

$$R_s = [0.25 + (0.50)(0.741)][33.752 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}]$$

$$R_s = 20.943 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

- **Radiación Solar para cielo despejado (R_{so})**

$$R_{so} = [0.75 + (2 \times 10^{-5})(Z)][R_a]$$

$$R_{so} = [0.75 + (2 \times 10^{-5})(56)][33.752 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}]$$

$$R_{so} = 25.352 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

➤ **Fracción de Radiación Solar $\left(\frac{R_s}{R_{so}}\right)$**

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \frac{20.943 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}}{25.352 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}}$$

$$\frac{R_s}{R_{so}} = \mathbf{0.826}$$

➤ **Radiación Solar Neta (R_{ns})**

$$R_{ns} = (1 - \alpha)(R_s)$$

$$R_{ns} = (1 - 0.23)(20.943 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día})$$

$$R_{ns} = \mathbf{16.126 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}}$$

➤ **Temperatura diaria del aire, Kelvin ($T, ^\circ K$)**

$$K = ^\circ C + 273.16$$

$$T_{(m\acute{a}x)}, K = 32.8 ^\circ C + 273.16$$

$$T_{(m\acute{a}x)}, K = \mathbf{305.960}$$

$$T_{(m\acute{i}n)}, K = 20.7 ^\circ C + 273.16$$

$$T_{(m\acute{i}n)}, K = \mathbf{293.860}$$

➤ **$(T, ^\circ K)^4(\sigma)$**

$$[T_{(m\acute{a}x)}, K]^4[\sigma] = [305.960]^4[4.903 \times 10^{-9}]$$

$$[T_{(m\acute{a}x)}, K]^4[\sigma] = \mathbf{42.966 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}}$$

$$[T_{(mín)}, K]^4[\sigma] = [293.860]^4[4.903 \times 10^{-9}]$$

$$[T_{(mín)}, K]^4[\sigma] = 36.561 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

➤ $0.34 - (0.14)(\sqrt{e_a})$

$$0.34 - (0.14)(\sqrt{e_a}) = 0.34 - (0.14)(\sqrt{1.670 \text{ Kpa}})$$

$$0.34 - (0.14)(\sqrt{e_a}) = 0.159$$

➤ $\left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - 0.35$

$$\left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - 0.35 = [(1.35)(0.826)] - 0.35$$

$$\left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - 0.35 = 0.765$$

➤ Radiación Neta de Onda Larga (R_{nl})

$$R_{nl} = \left\{ \frac{[T_{(máx)}, K]^4[\sigma] + [T_{(mín)}, K]^4[\sigma]}{2} \right\} \{0.34 - (0.14)(\sqrt{e_a})\} \left\{ \left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - 0.35 \right\}$$

$$R_{nl} = \left\{ \frac{42.966 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día} + 36.561 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}}{2} \right\} \{0.159\} \{0.765\}$$

$$R_{nl} = 4.837 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

➤ Radiación Neta (R_n)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_n = 16.126 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día} - 4.837 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

$$R_n = 11.289 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

➤ Flujo de Calor en el Suelo (G_{FEB})

$$G_{FEBRERO} = 0.07 (T_{med\text{MARZO}} - T_{med\text{ENERO}})$$

$$G_{FEBRERO} = 0.07 (27.95 \text{ °C} - 26.25 \text{ °C})$$

$$G_{FEBRERO} = 0.119 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

➤ ($R_n - G_{FEB}$)

$$(R_n - G_{FEB}) = 11.289 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día} - 0.119 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

$$(R_n - G_{FEB}) = 11.170 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

$$0.408 (R_n - G_{FEB}) = 0.408 (11.170) = 4.557 \text{ mm} / \text{día}$$

➤ Evapotranspiración de Referencia (ET_o)

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)}$$

$$\rightarrow [0.408 (R_n - G)] \times \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 U_2)} \right]$$

$$\rightarrow [4.557] \times [0.630] = 2.871 \text{ mm/día}$$

$$\rightarrow \left[\frac{900}{T_{med}+273} U_2 \right] \times [(e_s - e_a)] \times \left[\frac{\gamma}{\Delta+\gamma(1+0.34 U_2)} \right]$$

$$\rightarrow [7.186] \times [(2.038)] \times [0.204] = 2.988 \text{ mm/día}$$

$$ETo_{Febrero} = (2.871 + 2.988) \text{ mm/día}$$

$$ETo_{Febrero} = 5.86 \text{ mm/día}$$

$$ETo_{Febrero} \approx 5.9 \text{ mm/día}$$

Para simplificar el cálculo de los datos de evapotranspiración de referencia (ETo) y evapotranspiración máxima del cultivo (ETc), se diseñó una hoja de cálculo en la herramienta de trabajo Microsoft Excel; a continuación se muestran los resultados para todos los meses del año, aunque para efectos de este trabajo se tomaron en cuenta solamente los meses de Febrero, Marzo y Abril correspondientes al periodo de secano nacional.

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Eto (mm/día)	4.88	5.86	6.58	6.55	5.65	4.50	4.65	4.80	4.38	3.97	4.00	4.40

Fuente: Propia

Cálculo de la Evapotranspiración del cultivo de Sandía

ETAPAS	DESCRIPCIÓN	DDT	MES	Kc	ETo (mm/día)	ETc (mm/día)
1	Crecimiento I	0-10	Febrero	0.25	5.86	1.47
2	Crecimiento II	10-18	Febrero	0.35	5.86	2.05
3	Floración	18-25	Febrero	0.65	5.86	3.81
4	Fructificación	25-35	Marzo	0.9	6.58	5.92
5	Llenado	35-55	Marzo	1.1	6.58	7.24
6	Maduración	55-60	Marzo	0.83	6.58	5.46
7	Cosecha	>60	Abril	0.65	6.55	4.26

DDT = Días después del trasplante

Fuente: Propia

Del cálculo para las diferentes etapas fenológicas del cultivo se escogió la mayor **ETc** correspondiente a **7.24 mm/día**, siendo esta la lámina real que deberá reponerse diariamente durante los periodos de mayor evapotranspiración del cultivo.

ANEXO 25. Resultados Analíticos Físico-Químicos emitidos por el laboratorio de aguas CIRA/UNAN

2011-AN-0210



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua
 Hospital Monte España 300 metros al lago, Teléfonos (505) 2278 6981, 2278 6767, 2278 6982
 Telefax (505) 2267-8169, apartado postal 4598, correo: ventas.servicios@cira-unan.edu.ni



Resultados Analíticos Físico-Químicos

CLIENTE	MATRIZ DE LA MUESTRA FUENTE IDENTIFICACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE LUGAR Y/O COMUNIDAD MUNICIPIO, DEPARTAMENTO COORDENADAS FECHA DE MUESTREO HORA DE MUESTREO	AGUA NATURAL Pozo Perforado MZLD El Rodeo Tipitapa, Managua No Reportadas 2011-03-21 09 h 25
Frutas Frescas de Nicaragua, S.A. FRUTNICA San Benito. Tipitapa, Managua Alvaro Vargas Telf. 22634343	CÓDIGO DEL LABORATORIO FECHA DE RECEPCIÓN FECHA DE INICIO DEL ANÁLISIS FECHA DEL REPORTE	AN-0210 2011-03-21 2011-03-21 2011-03-31

Parámetros	Método	Limite de Detección	Resultados	Unidades	meq.l ⁻¹	Rango de Detección	Valor máximo admisible CAPRE ¹
TURBIDEZ	2134 B ¹		0,50	UNT		0,00 a 999	5,00 UNT
pH A 25,0 °C	4500-F.B ¹		7,61	Unidades de pH		0,10 a 14,00	6,5 - 8,5 Unidades de pH
CONDUCTIVIDAD A 22,6 °C	2514 B ¹		599,00	µS.cm ⁻¹		1,0 a 10 000,00	No hay referencia
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	1030-E ¹		470,14	mg.l ⁻¹		Hasta 20 000,00	1000,00 mg.l ⁻¹
COLOR VERDADERO	2120 B ¹		< rd	mg.l ⁻¹ Pt-Co		5,0 - 70,0	15,00 mg.l ⁻¹ Pt-Co
CALCIO	3500-Ca.B ¹	0,58	44,89	mg.l ⁻¹	2,240		No hay referencia
MAGNESIO	3500-Mg.B ¹	0,20	9,23	mg.l ⁻¹	0,780		50,00 mg.l ⁻¹
SODIO	3500-Na.B ¹	0,18	37,20	mg.l ⁻¹	1,618		200,00 mg.l ⁻¹
POTASIO	3500-K.B ¹	0,10	38,00	mg.l ⁻¹	0,972		10,00 mg.l ⁻¹
CLORUROS	4110 B ¹	0,25	7,39	mg.l ⁻¹	0,208		250,00 mg.l ⁻¹
NITRATOS	4110 B ¹	0,05	85,90	mg.l ⁻¹	1,386		50,00 mg.l ⁻¹
SULFATOS	4110 B ¹	0,25	23,76	mg.l ⁻¹	0,495		250,00 mg.l ⁻¹
CARBONATOS	2320 B ¹	2,00	< ld	mg.l ⁻¹			No hay referencia
BICARBONATOS	2320 B ¹	0,75	214,79	mg.l ⁻¹	3,520		No hay referencia
DUREZA TOTAL Como CaCO ₃	2340 C ¹	0,13	150,00	mg.l ⁻¹	3,000		No hay referencia
ALCALINIDAD TOTAL Como CaCO ₃	2320 B ¹	0,62	176,00	mg.l ⁻¹	3,520		No hay referencia
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA	2320 B ¹	1,67	< ld	mg.l ⁻¹			No hay referencia
SILICE DISUELTA	4500-SiO ₂ .C ¹	0,20	117,71	mg.l ⁻¹			No hay referencia
NITRITOS	4500-NO ₂ .B ¹	0,003	0,848	mg.l ⁻¹			0,10 a 3,00 mg.l ⁻¹ *
HIERRO TOTAL	3500-Fe.B ¹	0,02	< ld	mg.l ⁻¹			0,30 mg.l ⁻¹
FLUORUROS	4500-F.D ¹	0,03	0,46	mg.l ⁻¹			0,7 - 1,5 mg.l ⁻¹
AMONIO	Azul de indofenol ²	0,005	0,283	mg.l ⁻¹			0,5 mg.l ⁻¹
BALANCE IÓNICO DE LA MUESTRA	1030-E ¹		0,17	%			

* Si se toma el valor de 3,00 mg.l⁻¹ debe relacionarse el nitrato y nitrato por fórmula
 Datos de campo suministrados por el cliente:
 Clave: No Reportados
 < ld: El valor está por debajo del límite de detección
 < rd: El valor está por debajo del rango de detección

Referencias:

¹ American Public Health Association (APHA). (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 st Edition. Washington, APHA.

² Fowler, J. (1981) Análisis de las Aguas Naturales, Terrestres y Agua de Mar. España. Ediciones Omega.

³ Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CARIS). (1998) Manuales de Calidad para consumo humano. Costa Rica.



Lic. Mario Mesa Tineo
Especialista - Analista



MSc. Alvaro Molina Mesa
Jefe del Laboratorio de Aguas Naturales

DECLARACIÓN DEL ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD ANALÍTICA EN ESTE REPORTE DE RESULTADOS

En función de las previsiones contenidas en la Norma Técnica Nicaragüense (NTN 04 001-05), el Laboratorio de Aguas Naturales hace constar que la muestra de agua natural codificada con el N° AN-0210 fue captada, preservada y transportada por el Cliente. Ha sido procesada de acuerdo a los Procedimientos Operativos Normalizados establecidos por el Laboratorio para el Aseguramiento de la Calidad de la Información presentada en este reporte. Los Procedimientos en mención son los descritos en el "Manual de Procedimientos Operativos Normalizados del Laboratorio de Aguas Naturales".

Conservamos los resultados cualitativos y cuantitativos relevantes al procesamiento de la muestra que se encuentran en el tomo correspondiente al análisis solicitado en la bitácora general del laboratorio. Asimismo, copia de estos registros los mantendrá la Institución por un tiempo de 5 años.



ÁREA ANALÍTICA

Los resultados emitidos en este informe se refieren únicamente al objeto ensayado. El cliente está en libertad de reproducir total o parcialmente los resultados aquí anotados, bajo su propio nombre y responsabilidad. Podrá citar al Centro bajo expresa y formal autorización de su Director. Por su parte, el CIRA/UNAN se compromete a mantener confidencialidad del contenido de este informe de resultados, salvo expreso y formal consentimiento del cliente.

Managua, a los treinta días del mes de marzo del año dos mil once.





ÁREA TÉCNICA, ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD

Área Técnica, Aseguramiento y Control de la Calidad
CIRA/UNAN

ANEXO 26. Procesamiento de datos emitidos por el laboratorio de aguas CIRA/UNAN

Parámetros	Unidades	Rango habitual en el agua de riego (FAO)	Valor Máximo admisible CAPRE	Resultados de laboratorio	meq/l	Diagnóstico
CONTENIDO DE SALES						
Turbidez	UNT		5.0	0.50		Normal
C.E	µS/cm	0 a 3 dS/m		590.0		Salinidad Despreciable
Solidos totales disueltos (TDS)	mg.l	0 a 2000	1000.0	470.14		Restricción débil o moderada.
RAS	mg.l			-----	1.32	Libre de Sodio
CATIONES(+) Y ANIONES(-)						
Calcio (Ca ⁺⁺)	mg.l	0 – 20 meq.l		44.89	2.24	Sin Problemas
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg.l	0 – 5 meq.l	50.0	9.23	0.76	Sin Problemas
Sodio (Na ⁺)	mg.l	0 – 40 meq.l	200.0	37.20	1.61	Sin Problemas
Cloruros (Cl ⁻)	mg.l	0 – 30 meq.l	250.0	7.39	0.21	Sin Problemas
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	mg.l	0 – 20 meq.l	250.0	23.76	0.49	Sin Problemas
Carbonatos (CO ₃ ⁻)	mg.l	0 – 0.1 meq.l		<ld		-----
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	mg.l	0 – 10 meq.l		214.79	3.52	Sin Problemas
NUTRIENTES						
Potasio (K ⁺)	mg.l	0 – 2 meq.l	10.0	38.0	0.97	Normal
Nitratos (NO ₃ – N)	mg.l	0 – 10 meq.l	50.0	85.90	1.38	Normal
Nitritos	mg.l		0.10 a 3.0	0.85		Normal
Hierro Total	mg/l		0.30	<ld		-----
Fluoruros	mg.l		0.7 a 1.5	0.46		Normal
Amonio	mg.l		0.50	0.28		Normal
Clave: <ld: El valor está por debajo del límite de detección <rd: El valor está por debajo del rango de detección						

Fuente: CIRA/UNAN

ANEXO 26. Continuación

Parámetros	Unidades	Rango habitual en el agua de riego (FAO)	Valor Máximo admisible CAPRE	Resultados de laboratorio	meq/l	Diagnóstico
VARIOS						
pH	Unds pH	6.5 - 8.4	6.5 a 8.5	7.61		Buena
Color Verdadero			15.0 mg.l Pt-Co	<rd		-----
Dureza como CaCO ₃	mg.l			150	3.0	Agua semi dura
Alcalinidad como CaCO ₃	mg.l			176.0	3.52	-----
Alcalinidad a la Fenolftaleína	mg.l			<ld		-----
Sílice disuelta	mg.l			117.71		-----
Balance Iónico de la muestra	%		0.5	0.17		Normal
Clave: <ld: El valor está por debajo del límite de detección <rd: El valor está por debajo del rango de detección						

Referencias: Rodler. J. (1981) Análisis de las Aguas Naturales, Residuales y Agua de Mar. España.

Comité Regional de Instituciones de agua y Saneamiento de Centro América, Panamá y República Dominicana (CAPRE)

British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Ambient Water Quality Guidelines for Turbidly, Suspended and Benthic Sediments. 1997.

South African Water Quality Guidelines. 1996.

ANEXO 27. Cálculo de Relación de Adsorción de Sodio (RAS), Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y Dureza del Agua de Riego

$$RAS = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

$$RAS = \frac{[1.618]}{\sqrt{\frac{[2.240] + [0.760]}{2}}} = 1.32 \text{ meq/l}$$

El PSI expresa el porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sodicación y dispersión de la arcilla cuando el **PSI > 15%**.

$$PSI = \frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [K^+]} \times 100$$

$$PSI = \frac{[1.618]}{[2.240] + [0.760] + [1.618] + [0.972]} \times 100 = 28.94 \%$$

Carbonato Sódico Residual [CSR]

$$CSR = ([CO_3H^-] + [CO_3^{2-}]) - ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])$$

$$CSR = (3.520 + [0]) - ([2.240] + [0.760]) = 0.52 \text{ meq/l}$$

Dureza

$$DUREZA = \frac{([Ca^{2+}] \times [2.5]) + ([Mg^{2+}] \times [4.12])}{10}$$

$$DUREZA = \frac{([44.89] \times [2.5]) + ([9.23] \times [4.12])}{10} = 15.03 \text{ GHF}$$

ANEXO 28. Cálculo de Sales presentes en el agua de riego

Cationes y aniones pozo #7 FRUTNICSA

Cationes	Ca ⁺⁺ ,	2.240
	Mg ⁺⁺	0.760
	Na ⁺	1.618
	K ⁺	0.972
	Sumatoria	5.590
Aniones	Cl ⁻	0.208
	SO ₄ ⁻	0.495
	CO ₃ ⁻	0.000
	CO ₃ H ⁻	3.520
	NO ₃ ⁻	1.380
	Sumatoria	5.603

Fuente: Propia

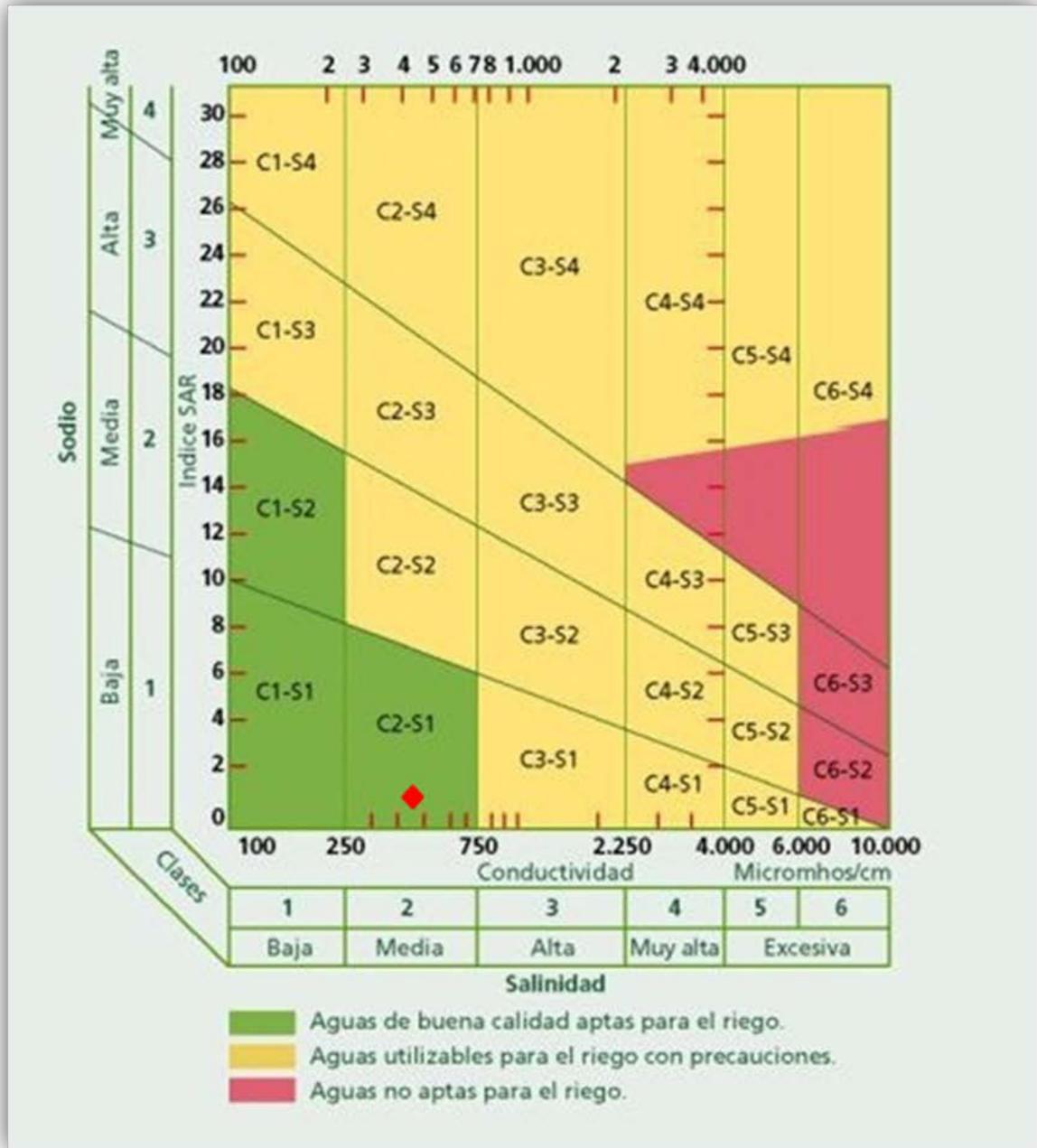
$$\% Na = \frac{[Na^+]}{(\sum Cationes)} \times 100$$

$$\% Na = \frac{[1.618]}{([2.240] + [0.760] + [1.618] + [0.972])} \times 100 = 28.14 \%$$

$$[\sum Sales] = [\sum Cationes] + [\sum Aniones]$$

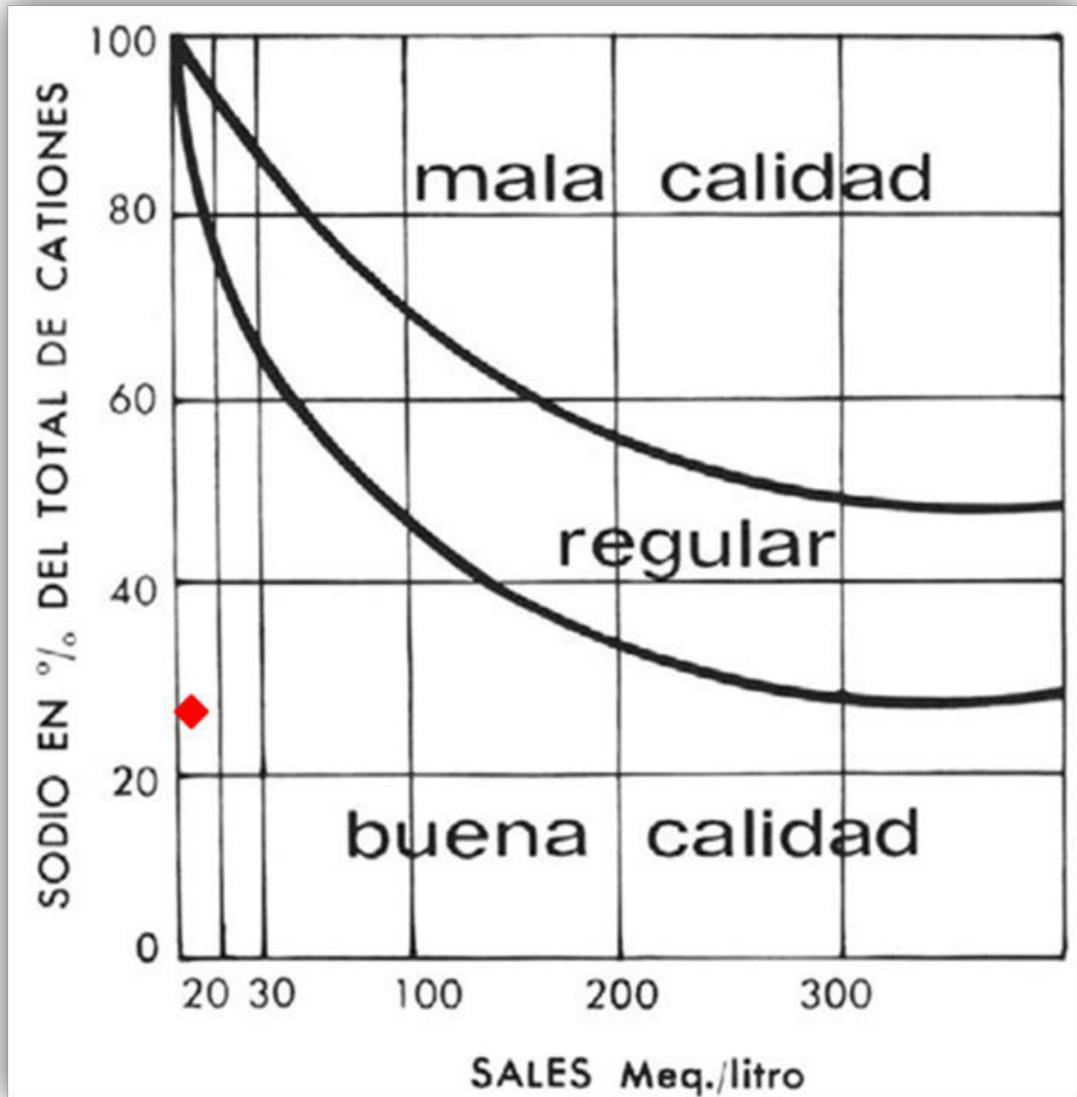
$$[\sum Sales] = [5.590] + [5.603] = 11.193 \text{ meq/l}$$

ANEXO 29. Norma Riverside para evaluar calidad de agua de riego Lote D FRUTNICSA



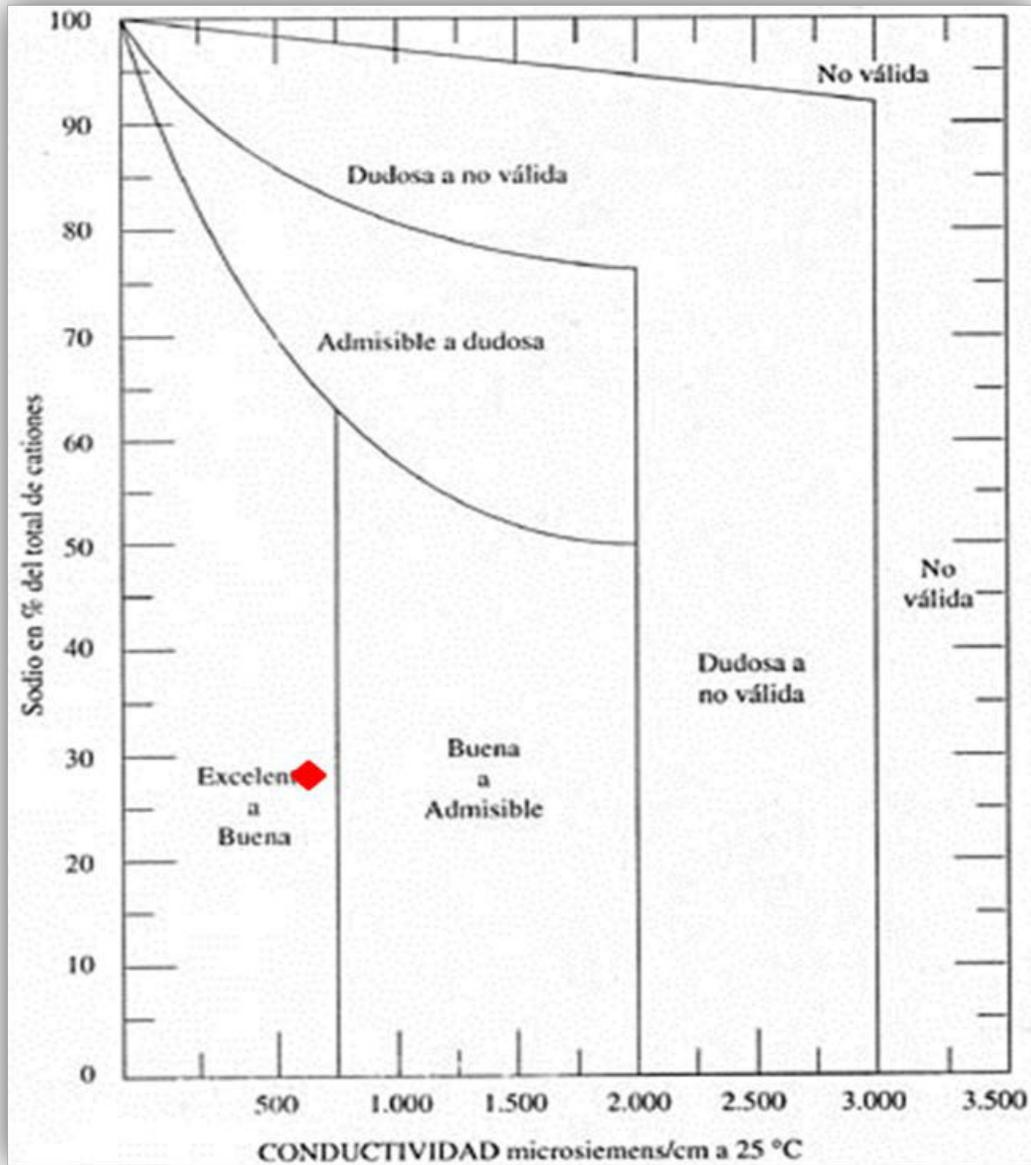
Fuente: U.S Salinity Laboratory Staff (1954)

**ANEXO 30. Norma H. Greene para evaluar calidad de agua de riego
Lote D FRUTNICSA**



Fuente: (Adaptado de Utilización de tierras salinas, H. Greene, F.A.O.)

**ANEXO 31. Norma L.V. Wilcox para evaluar calidad de agua de riego
Lote D FRUTNICSA**



Fuente: (Adaptado de "The Quality of Water for Irrigation USE", USDA)
Cánovas (1986)

ANEXO 32. Especificaciones de Cintas de Riego Aqua-Traxx

Aqua-Traxx[®]

with the **PBX Advantage**

Cinta Premium de Precisión Inigualable

Precisión

- Espaciamento de emisores de 10 a 60 cm.
- Caudales adecuados para cada tipo de suelo.
- Distribución eficaz de agua, fertilizantes y otros químicos.

Uniformidad

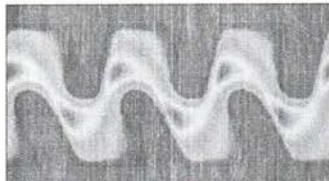
- El diseño innovador del emisor proporciona el caudal preciso en cada gotero.
- Coeficientes de variación sobresalientes — menores al 3 por ciento.

Durabilidad

- Construcción de una sola pieza proporciona máxima resistencia.
- Materias primas de gran calidad brindan alta resistencia y flexibilidad.

Resistencia al Taponamiento

- Conductos de gran amplitud transversal resisten el taponamiento.
- La mayoría de los goteros PBX solamente requieren filtración de 140 mesh.



La tecnología de Corte-transversal Proporcionalmente Balanceado "Proportionally Balanced Cross-Section (PBX)" es un diseño que optimiza la turbulencia dentro del emisor, mismo que brinda un control eficaz del flujo de agua, distribución uniforme y gran resistencia al taponamiento.

Soluciones de riego Toro

PRECISAS. EFICACES. PRÁCTICAS.

The Toro Company
Micro Irrigation Business
1588 N. Marshall Avenue, El Cajon, CA 92020-1523, USA
Tel: +1 (619) 313-8125 ext +1 (619) 562-2350
Fax: +1 (619) 892-1822 ext +1 (619) 258-9973
toromicroirrigation.com

ALT061-1 05/08

Caudales

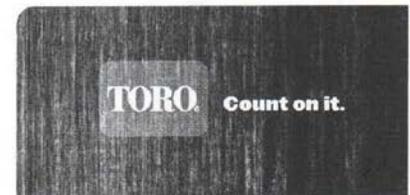
Espesores disponibles 4, 5, 6, 8, 10, 12 & 15 milésimas de pulgada

Número de Parte	Distancia entre goteros		Caudal por Gotero				Q. 100 (gpm/100 ft)		Caudal por metro (lph/metro)		Requisito de Filtro de Mesh
			gph		lph		gpm/100 ft		lph/metro		
			in	cm	@ 0.5 psi	@ 10 psi	@ 0.6 bar	@ 3.7 bar	@ 0.5 psi	@ 10 psi	
Gotero 0.07 gph											
EAXxx0817	8	20	0.07	0.08	0.26	0.30	0.17	0.20	1.32	1.48	
EAXxx1608	16	40	0.07	0.08	0.26	0.30	0.09	0.10	0.66	0.74	
Gotero 0.09 gph											
EAXxx0822	8	20	0.09	0.10	0.34	0.38	0.23	0.25	1.70	1.89	
Gotero 0.13 gph											
EAXxx0467	4	10	0.13	0.15	0.51	0.57	0.67	0.75	5.08	5.68	140 (NUEVO)
EAXxx0834	8	20	0.13	0.15	0.51	0.57	0.34	0.37	2.54	2.84	
EAXxx1222	12	30	0.13	0.15	0.51	0.57	0.22	0.25	1.69	1.89	
EAXxx1017	16	40	0.13	0.15	0.51	0.57	0.17	0.19	1.27	1.42	
EAXxx2411	24	60	0.13	0.15	0.51	0.57	0.11	0.12	0.85	0.95	
Gotero 0.15 gph											
EAXxx0650	6	15	0.15	0.17	0.57	0.63	0.50	0.56	3.78	4.23	140 (NUEVO)
EAXxx1225	12	30	0.15	0.17	0.57	0.63	0.25	0.28	1.89	2.12	
Gotero 0.20 gph											
EAXxx04100	4	10	0.20	0.23	0.76	0.85	1.01	1.13	7.62	8.52	140 (NUEVO)
EAXxx0667	6	15	0.20	0.23	0.76	0.85	0.67	0.75	5.08	5.68	
EAXxx0859	8	20	0.20	0.23	0.76	0.85	0.50	0.56	3.81	4.26	
EAXxx1234	12	30	0.20	0.23	0.76	0.85	0.34	0.38	2.54	2.84	
EAXxx1635	16	40	0.20	0.23	0.76	0.85	0.25	0.28	1.90	2.13	
EAXxx2417	24	60	0.20	0.23	0.76	0.85	0.17	0.19	1.27	1.42	
Gotero 0.27 gph											
EAXxx01134	4	10	0.27	0.30	1.02	1.14	1.34	1.50	10.16	11.36	140 (NUEVO)
EAXxx0867	8	20	0.27	0.30	1.02	1.14	0.67	0.75	5.08	5.68	
EAXxx1245	12	30	0.27	0.30	1.02	1.14	0.45	0.50	3.39	3.79	
EAXxx1684	16	40	0.27	0.30	1.02	1.14	0.34	0.38	2.54	2.84	
EAXxx2422	24	60	0.27	0.30	1.02	1.14	0.22	0.25	1.69	1.89	
Gotero 0.34 gph											
EAXxx0884	8	20	0.34	0.37	1.27	1.42	0.84	0.94	6.35	7.10	140 (NUEVO)
EAXxx1256	12	30	0.34	0.37	1.27	1.42	0.56	0.62	4.23	4.73	
EAXxx1642	16	40	0.34	0.37	1.27	1.42	0.42	0.47	3.17	3.55	
EAXxx2428	24	60	0.34	0.37	1.27	1.42	0.28	0.31	2.12	2.37	

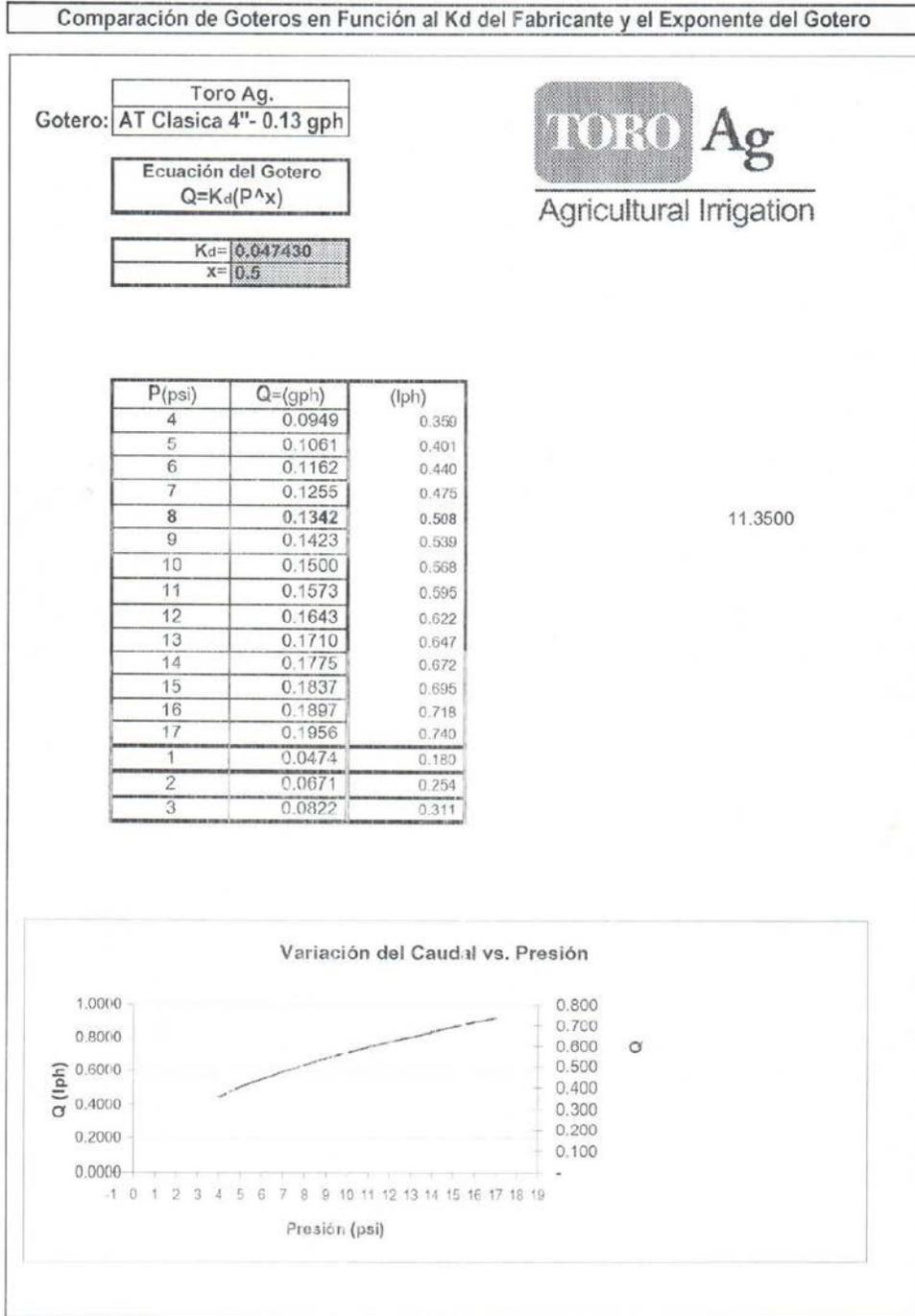
X = Colocar 5 para 5/8", 7 para 7/8" y 11 para 1-3/8" xx = colocar el espesor en milésimas de pulgada.

Espesor de pared	Presión de Operación				Longitud de Rollo		Peso de Rollo		Diámetro
	Min		Max		Pie	Metros	lbs	Kg	
	psi	bar	psi	bar					
4 mil	4	0.3	8	0.6	15,000	4,522	61	29	5/8" 16 mm
5 mil	4	0.3	10	0.7	13,000	3,962	74	34	
6 mil	4	0.3	12	0.8	10,000	3,018	61	29	
8 mil	4	0.3	15	1.0	7,500	2,286	66	30	
10 mil	4	0.3	15	1.0	6,000	1,829	61	29	
12 mil	4	0.3	15	1.0	5,100	1,554	63	29	
15 mil	4	0.3	15	1.0	4,200	1,219	63	29	7/8" 22 mm
6 mil	4	0.3	10	0.7	7,380	2,249	66	31	
8 mil	4	0.3	15	1.0	6,000	1,829	72	33	
10 mil	4	0.3	15	1.0	4,400	1,341	71	32	
12 mil	4	0.3	15	1.0	4,000	1,219	72	33	
15 mil	4	0.3	15	1.0	3,000	914	66	30	
15 mil	4	0.3	15	1.0	2,700	823	87	39	1-3/8" 35 mm

1 y 2 mils de 7/8" y 1-3/8" con tecnología PBX Advantage estará disponible próximamente.



ANEXO 33. Curva característica Gotero AT Clásico 4" – 0.13 gph



ANEXO 34. Datos de caudales y presiones 1, turno 7

VALVULA 1, TURNO 7								
Presión de la Bomba = 25 PSI a 1300 rpm, Presión en la válvula = 11 PSI								
Lateral	Punto	Planta	Q (l/h)	Presión (PSI)	Presión (mca)	Q _{min} (l/h)	P _{min} (PSI)	
Lateral N° 1	Inicio	1	0.74	11.0	7.70	0.64	9.00	
	1/3 Longitud	2	0.68	10.0	7.00			
	2/3 Longitud	3	0.64	10.0	7.00			
	Final	4	0.70	9.0	6.30			
Lateral N° 2	Inicio	5	0.64	11.0	7.70	0.56	8.00	
	1/3 Longitud	6	0.60	10.0	7.00			
	2/3 Longitud	7	0.56	9.0	6.30			
	Final	8	0.64	8.0	5.60			
Lateral N° 3	Inicio	9	0.60	11.0	7.70	0.54	10.00	
	1/3 Longitud	10	0.54	10.0	7.00			
	2/3 Longitud	11	0.60	10.0	7.00			
	Final	12	0.60	10.0	7.00			
Lateral N° 4	Inicio	13	0.58	10.0	7.00	0.54	9.50	
	1/3 Longitud	14	0.56	10.0	7.00			
	2/3 Longitud	15	0.54	10.0	7.00			
	Final	16	0.54	9.5	6.65			
			Σ =	9.76	158.50	Σ =	2.28	36.50
			Media =	0.61	9.91	Media =	0.57	9.13
			σ =	0.0598	0.7793			
			x (gotero) =	0.50				

Fuente: Propia

NOTA: Los datos fueron levantados tomando un tiempo de tres minutos para cada caudal de emisor evaluado.

ANEXO 35. Datos de caudales y presiones válvula 3, turno 7

VALVULA 3, TURNO 7							
Presión de la Bomba = 25 PSI a 1300 rpm, Presión en la válvula = 14 PSI							
Lateral	Punto	Planta	Q (l/h)	Presión (PSI)	Presión (mca)	Q_{min} (l/h)	P_{min} (PSI)
Lateral N° 1	Inicio	1	0.61	8.0	5.60	0.52	8.00
	1/3 Longitud	2	0.62	10.0	7.00		
	2/3 Longitud	3	0.59	11.0	7.70		
	Final	4	0.52	11.0	7.70		
Lateral N° 2	Inicio	5	0.65	12.0	8.40	0.43	8.00
	1/3 Longitud	6	0.60	11.0	7.70		
	2/3 Longitud	7	0.43	10.0	7.00		
	Final	8	0.52	8.0	5.60		
Lateral N° 3	Inicio	9	0.62	12.0	8.40	0.52	8.00
	1/3 Longitud	10	0.60	10.0	7.00		
	2/3 Longitud	11	0.55	9.0	6.30		
	Final	12	0.52	8.0	5.60		
Lateral N° 4	Inicio	13	0.61	10.0	7.00	0.31	8.00
	1/3 Longitud	14	0.31	9.0	6.30		
	2/3 Longitud	15	0.52	8.0	5.60		
	Final	16	0.57	9.0	6.30		
Σ =			8.84	156.00	Σ =	1.78	32.00
Media =			0.5525	9.75	Media =	0.45	8.00
σ =			0.0854	1.3904			
x (gotero) =			0.50				

Fuente: Propia

NOTA: Los datos fueron levantados tomando un tiempo de tres minutos para cada caudal de emisor evaluado.

ANEXO 36. Datos de caudales y presiones válvula 1, turno 4

VALVULA 1, TURNO 4							
Presión de la Bomba = 30 PSI a 1500 rpm, Presión en la válvula = 10 PSI							
Lateral	Punto	Planta	Q (l/h)	Presión (PSI)	Presión (mca)	Q _{min} (l/h)	P _{min} (PSI)
Lateral N° 1	Inicio	1	0.48	8.0	5.60	0.48	7.00
	1/3 Longitud	2	0.56	7.0	4.90		
	2/3 Longitud	3	0.56	8.0	5.60		
	Final	4	1.08	8.0	5.60		
Lateral N° 2	Inicio	5	1.16	10.0	7.00	0.60	9.00
	1/3 Longitud	6	0.60	9.0	6.30		
	2/3 Longitud	7	0.62	9.0	6.30		
	Final	8	0.60	9.0	6.30		
Lateral N° 3	Inicio	9	0.50	9.0	6.30	0.50	8.00
	1/3 Longitud	10	0.54	8.0	5.60		
	2/3 Longitud	11	0.50	9.0	6.30		
	Final	12	0.52	8.0	5.60		
Lateral N° 4	Inicio	13	0.50	9.0	6.30	0.48	8.00
	1/3 Longitud	14	0.52	8.0	5.60		
	2/3 Longitud	15	0.50	8.0	5.60		
	Final	16	0.48	8.0	5.60		
Σ =			9.72	135.00	Σ =	2.06	32.00
Media =			0.6075	8.44	Media =	0.52	8.00
σ =			0.2052	0.7274			
x (gotero) =			0.50				

Fuente: Propia

NOTA: Los datos fueron levantados tomando un tiempo de tres minutos para cada caudal de emisor evaluado.

ANEXO 37. Datos de caudales y presiones válvula 4, turno 4

VALVULA 4, TURNO 4							
Presión de la Bomba = 28 PSI a 1400 rpm, Presión en la válvula = 14 PSI							
Lateral	Punto	Planta	Q (l/h)	Presión (PSI)	Presión (mca)	Q _{min} (l/h)	P _{min} (PSI)
Lateral N° 1	Inicio	1	0.64	9.0	6.30	0.64	9.00
	1/3 Longitud	2	0.66	10.0	7.00		
	2/3 Longitud	3	0.66	12.0	8.40		
	Final	4	0.70	14.0	9.80		
Lateral N° 2	Inicio	5	0.62	10.0	7.00	0.62	10.00
	1/3 Longitud	6	0.64	12.0	8.30		
	2/3 Longitud	7	1.28	13.0	9.10		
	Final	8	1.38	14.0	9.80		
Lateral N° 3	Inicio	9	1.22	11.0	7.70	0.64	11.00
	1/3 Longitud	10	0.64	12.0	8.40		
	2/3 Longitud	11	0.98	13.0	9.10		
	Final	12	0.70	14.0	9.80		
Lateral N° 4	Inicio	13	0.60	13.0	9.10	0.60	13.00
	1/3 Longitud	14	0.62	13.0	9.10		
	2/3 Longitud	15	0.62	14.0	9.80		
	Final	16	0.62	15.0	10.50		
Σ =			12.58	199.00	Σ =	2.50	43.00
Media =			0.78625	12.44	Media =	0.63	10.75
σ =			0.2681	1.7115			
x (gotero) =			0.50				

Fuente: Propia

NOTA: Los datos fueron levantados tomando un tiempo de tres minutos para cada caudal de emisor evaluado.

ANEXO 38. Datos de caudales y presiones válvula 1, turno 1

VALVULA 1, TURNO 1								
Presión de la Bomba = 28 PSI a 1500 rpm, Presión en la válvula = 10 PSI								
Lateral	Punto	Planta	Q (l/h)	Presión (PSI)	Presión (mca)	Q_{min} (l/h)	P_{min} (PSI)	
Lateral N° 1	Inicio	1	0.84	12.0	8.40	0.72	12.00	
	1/3 Longitud	2	0.72	12.0	8.40			
	2/3 Longitud	3	0.82	12.0	8.40			
	Final	4	0.78	13.0	9.10			
Lateral N° 2	Inicio	5	0.74	9.0	6.30	0.60	9.00	
	1/3 Longitud	6	0.64	9.0	6.30			
	2/3 Longitud	7	0.74	10.0	7.00			
	Final	8	0.60	11.0	7.70			
Lateral N° 3	Inicio	9	0.58	9.0	6.30	0.54	9.00	
	1/3 Longitud	10	0.54	9.0	6.30			
	2/3 Longitud	11	0.56	10.0	7.00			
	Final	12	0.64	12.0	8.40			
Lateral N° 4	Inicio	13	0.52	8.0	5.60	0.52	4.00	
	1/3 Longitud	14	0.58	4.0	2.80			
	2/3 Longitud	15	0.66	6.0	4.20			
	Final	16	0.70	8.0	5.60			
			Σ =	10.66	154.00	Σ =	2.38	34.00
			Media =	0.66625	9.63	Media =	0.60	8.50
			σ =	0.1003	2.4187			
			x (gotero) =	0.50				

Fuente: Propia

NOTA: Los datos fueron levantados tomando un tiempo de tres minutos para cada caudal de emisor evaluado.

ANEXO 39. Imágenes de pruebas de campo Lote D



Caudal del emisor



Presión de trabajo



Calicata para profundidad radicular



Velocidad de Infiltración

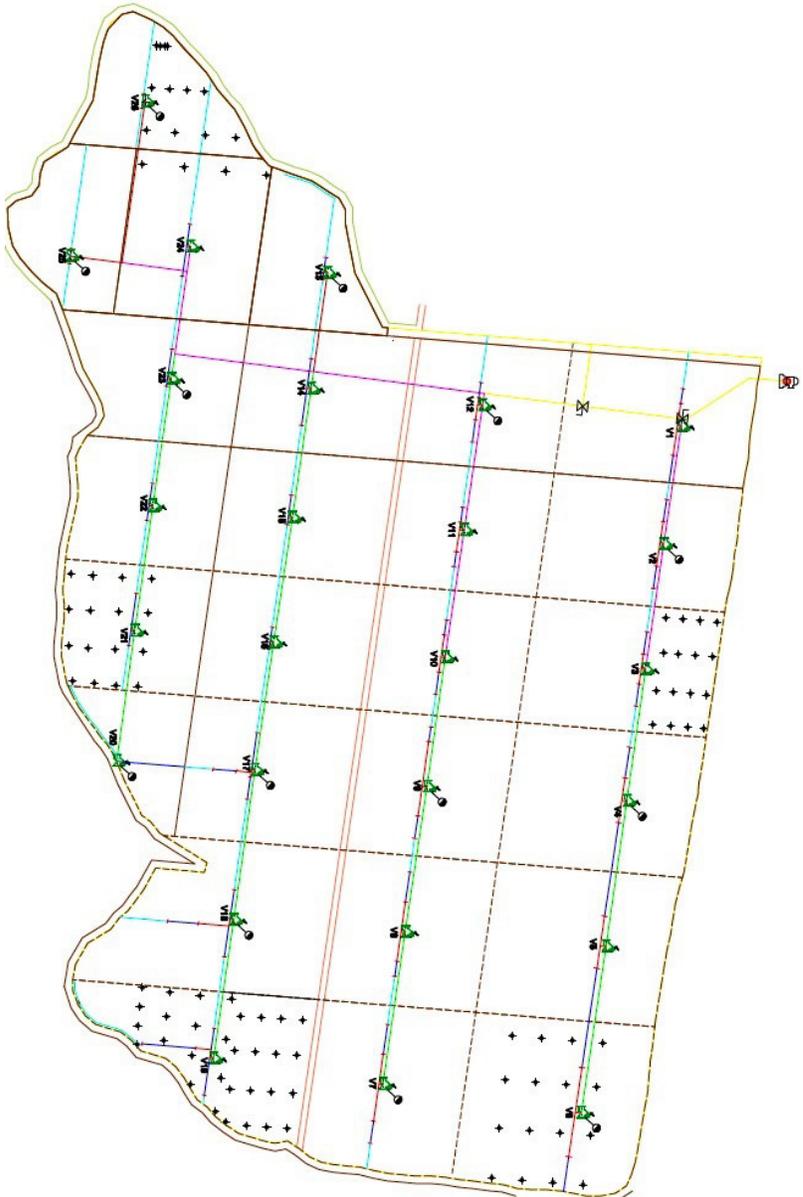


Método gravimétrico (m²)



Muestreo de agua de riego

ANEXO 40. Plano de puntos muestreados y diseño del sistema Lote D



PARAMETROS DE DISEÑO	UNIDADES	VALORES
CULTIVO	SANDIA	-
AREA A IRRIGAR	HA.	36.5
TIPO DE FUENTE DE AGUA	POZO	-
BORNEAMIENTO DE CULTIVO	m	1.8
METODO DE REGADO	GOTEO	-
TIPO DE CANTA DE GOTEO	AGUJERAS PER Y PC	-
PLAZO DE ENRIQUE	L/H	0.6, 0.75
BORNEAMIENTO ENTRE BORNEOS	m	0.0, 0.6
BORNEAMIENTO ENTRE LATERALES	m	1.8
NUMERO DE LATERALES POR HERRA		-
AREA DE IRRIGACION	HA/A	2.78
EMPAQUETACION MAX DEL CULTIVO	HA/A	1
INTERVALO DE REGO	HA/A	1
LARGURA DE APPLICACION POR REGO	HA/A	1
TIEMPO DE REGO POR OPERACION	H	2.5
NUMERO DE OPERACIONES POR CICLO DE REGO	OP/A	1007
DISCARIA VERTICAL POR OPERACION	OP/A	850
TIEMPO MAXIMO TOTAL DE REGO POR CICLO	H	1
PREMIO INCREMENTAL DEL SUJERO	PREI	8
PREMIO INCREMENTAL DE LA PUNTA DE APLICACION	PREI	90
		-
		-
		-

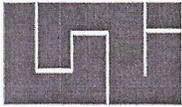
Simbología
Bomba y Filtracion
Valvula ventosa
Valvula Hidraulica
Tuberia Pvc 8"
Tuberia Pvc 6"
Tuberia Pvc 4"
Tuberia Pvc 3"
Tuberia Pvc 2"
Tuberia Pvc 1 1/2"
Valvula Mariposa

POZO NO. 57

NO	AREA (HA)	PERIMETRO (M)
1	1.21	100
2	1.21	100
3	1.21	100
4	1.21	100
5	1.21	100
6	1.21	100
7	1.21	100
8	1.21	100
9	1.21	100
10	1.21	100
11	1.21	100
12	1.21	100
13	1.21	100
14	1.21	100
15	1.21	100
16	1.21	100
17	1.21	100
18	1.21	100
19	1.21	100
20	1.21	100
21	1.21	100
22	1.21	100
23	1.21	100
24	1.21	100
25	1.21	100
26	1.21	100
27	1.21	100
28	1.21	100
29	1.21	100
30	1.21	100

NO	AREA (HA)	PERIMETRO (M)	AREA (HA)
1	1.21	400	5.34
2	2.11	600	5.34
3	3.01	800	5.34
4	4.01	1000	5.34
5	5.01	1200	5.34
6	6.01	1400	5.34
7	7.01	1600	5.34
8	8.01	1800	5.34
9	9.01	2000	5.34
10	10.01	2200	5.34
11	11.01	2400	5.34
12	12.01	2600	5.34
13	13.01	2800	5.34
14	14.01	3000	5.34
15	15.01	3200	5.34
16	16.01	3400	5.34
17	17.01	3600	5.34
18	18.01	3800	5.34
19	19.01	4000	5.34
20	20.01	4200	5.34
21	21.01	4400	5.34
22	22.01	4600	5.34
23	23.01	4800	5.34
24	24.01	5000	5.34
25	25.01	5200	5.34
26	26.01	5400	5.34
27	27.01	5600	5.34
28	28.01	5800	5.34
29	29.01	6000	5.34
30	30.01	6200	5.34

PROYECTO NO	57	DIVISION DE RIEGO	SISTEMA DE RIEGO
FECHA	08.06.2011	DIRECCION	MANAGUA
ESCALA	-	CUBIERTO	GOTEO
DISEÑO	M.Narvaez	AREA	CULTIVO
DIBUJO	J.MENDEZ	35.36HA	SANDIA
REVISOR	M.BARRERA	1.8 METROS	POZO
			Iix



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

ROBLERO GONZÁLEZ RANDALPH GUILLERMO

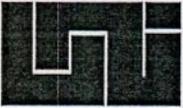
Carne: **2005-21034** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA AGRÍCOLA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cuatro días del mes de mayo del año dos mil quince.

Atentamente,



Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

MEJIA VADO CARLOS JOSÉ

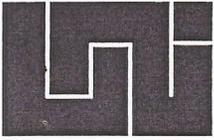
Carne: **2006-23655** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA AGRÍCOLA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los once días del mes de mayo del año dos mil quince.

Atentamente,



Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA DE FACULTAD**

**HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016**

No. Recibo **56278284**

No. Inscripción **346**

NOMBRES Y APELLIDOS: RANDALPH GUILLERMO ROBLERO GONZÁLEZ

TURNO: Diurno

CARRERA: INGENIERIA AGRÍCOLA

CARNET: 2005-21034

PLAN DE ESTUDIO: 97

SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE
2016

FECHA: 24/02/2016

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

USER_ONLINE

GRABADOR

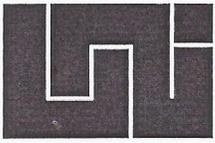
FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 29-abr-2016



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA DE FACULTAD**

**HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016**

No. Recibo **56385222**

No. Inscripción **264**

NOMBRES Y APELLIDOS : Carlos José Mejía Vado

CARRERA: INGENIERIA AGRÍCOLA

CARNET: 2006-23655

TURNO: Diurno

PLAN DE ESTUDIO: 97

SEMESTRE: PRIMER SEMESTRE
2016

FECHA: 19/02/2016

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	-----ULTIMA LINEA					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

USER_ONLINE

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 29-abr-2016