

¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego
y agricultores a pequeña escala

Ramón Pérez Leira
Jacqueline Domínguez Gutiérrez



Ediciones
Uleam

¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Ramón Pérez Leira
Jacqueline Domínguez Gutiérrez





Texto arbitrado bajo la modalidad doble par ciego

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

Ciudadela universitaria vía circunvalación (Manta)
www.uleam.edu.ec

Dr. Marcos Zambrano Zambrano, PhD.

Rector

Dr. Pedro Quijje Anchundia, PhD.

Vicerrector Académico

Dra. Jackeline Terranova Ruiz, PhD.

Vicerrectora de Investigación, Vinculación y Postgrado

Dr. Fidel Chiriboga Mendoza, PhD.

Director de Departamento de Publicaciones y Servicios Bibliográficos

¿Cómo regar en Manabí? Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

© Ramón Pérez Leira

© Jacqueline Domínguez Gutiérrez

ISBN: 978-9942-827-94-4

Edición: Primera. Enero de 2024. Publicación digital

Departamento de Publicaciones y Servicios Bibliográficos

Trabajo de edición y revisión de texto: Mg. Alexis Cuzme Espinales

Diagramación, edición de estilo y diseño de portada: Mg. José Márquez Rodríguez

Una producción de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, registrada en la Cámara Ecuatoriana del Libro.

Sitio Web: www.munayi.uleam.edu.ec

Correo institucional: psbibliograficos@uleam.edu.ec

Facebook @Ediciones Uleam

Twitter @EdicionesUleam

Teléfonos: 2 623 026 Ext. 255

Toda la información relacionada al contenido del texto es responsabilidad de los autores.

Índice

Prólogo	9
----------------------	----------

Introducción	11
---------------------------	-----------

Capítulo 1

Aspectos generales de la provincia	13
---	-----------

1.1. Características Generales de Manabí.....	13
1.2. Topografía	15
1.3. Extensión	16
1.4. Población	17
1.5. Principales renglones económicos.....	18
1.6. La Agricultura Familiar Campesina	19
1.7. Clima	20
1.8. Suelos.....	21
1.9. Uso de Suelo y Cultivos.....	23
1.10. Recursos Hídricos e Infraestructura Hidráulica.....	25

Capítulo 2

Estudio de los factores Climáticos para la planificación del Régimen de Riego ..	27
---	-----------

2.1. Estudio de las Precipitaciones en Manabí.....	27
2.1.1. Determinación de la Precipitación Efectiva mediante Métodos Empíricos	33
2.1.2. Determinación de la Precipitación Efectiva mediante Fórmulas Empíricas.....	33
2.2. Estudio de la Evaporación y la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia en Manabí.....	38
2.3. Zonas Climáticas y Déficit Hídrico en Manabí	43
2.3.1. Zonas Climáticas en Manabí.....	43
2.3.2. Diferencias entre sequía, aridez, y escasez	43
2.3.3. Déficit Hídrico Meteorológico	44
2.3.4. Déficit Hídrico Hidrológico.....	45
2.3.5. Déficit Hídrico Agrícola.....	45
2.3.6. Déficit Hídrico Socioeconómico	45
2.3.7. Criterios para el cálculo del déficit hídrico	46

Capítulo 3

Estudio de las Propiedades de los Suelos para la planificación del Régimen de Riego	53
3.1. Propiedades Físicas de los suelos	53
3.2. Propiedades Hidrofísicas de los suelos	58
3.3. Expresiones de Cálculo del Contenido de Humedad en el Suelo.....	65
3.4. Estudio de Suelos en Manabí.....	68

Capítulo 4

Estudio de los Cultivos y Planificación del Régimen de Riego	77
4.1. Régimen de Riego de Proyecto y Régimen de Riego de Explotación	77
4.2. Criterios de Programación del Régimen de Riego de Proyecto.....	80
4.3. Demanda de los Cultivos a partir de conocer el valor de Kc y la Evapotranspiración	81
4.4. Estudio del Régimen de Riego de cinco Cultivos Permanentes en diferentes escenarios en Manabí	90

Capítulo 5

Los Métodos y las Técnicas de Riego	99
5.1. Definición de los Métodos y Técnicas de Riego	99
5.2. Método de Riego Superficial	99
5.2.1. Componentes de un Sistema de Riego Superficial	101
5.2.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego Superficial	103
5.3. Riego por Aspersión	103
5.3.1. Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión	105
5.3.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego por Aspersión	109
5.4. Riego Localizado	110
5.4.1. Componentes de un Sistema de Riego Localizado	112
5.4.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego Localizado	113
5.5. Criterios para definir el Método de Riego más conveniente	114

Capítulo 6

Ideas útiles para la evaluación y mejoras del riego en la Parcela	117
6.1. El Proyecto de un Sistema de Riego	117

6.2. Dotación o Caudal Ficticio. Procedimiento de cálculo y utilidad práctica para definir el área y condiciones de riego	118
6.3. Cómo medir el caudal de una bomba en Descarga Libre (Método de las Coordenadas del Chorro)	121
6.4. Cómo medir el Caudal que fluye por un Canal	124
6.5. Cómo evaluar un sistema de riego	129
6.5.1. Materiales y Procedimientos para evaluar un sistema de Riego Localizado	130
6.5.2. Materiales y Procedimientos para evaluar un sistema de Riego por Aspersión	134
Referencias	143

Prólogo

La provincia de Manabí es una región eminentemente agrícola, donde se desarrollan importantes cultivos como el cacao, maíz, plátano, arroz y otros, que contribuyen al dinamismo de la economía del país. Sin embargo, la gran mayoría de la explotación agrícola en la provincia se limita a la estación invernal, cuando se registra el mayor volumen de precipitación. Este particular será desarrollado con detalle por el autor en los capítulos 1 y 2 de este texto.

Además, cabe destacar que el 60% (11,502.11 km²) de la provincia no recibe agua de los páramos, lo que ha llevado a la construcción de grandes infraestructuras hidráulicas como parte del Plan Hidráulico de Manabí. Hasta la fecha, este plan no ha sido concluido debido a diversas circunstancias, entre ellas factores económicos, sociales, políticos y ambientales. Estas infraestructuras incluyen las represas de La Esperanza y Poza Honda, ubicadas en las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo, respectivamente. Estas represas abastecen de agua a las explotaciones agrícolas en el centro de la provincia, dejando desprovistas de esta infraestructura y recurso hídrico a las regiones norte y sur de Manabí.

Es evidente que en gran parte de la provincia existe una baja disponibilidad del recurso hídrico y una distribución inequitativa del mismo. Sin duda, esto repercute en la producción agrícola, ya que limita la adopción de tecnologías de riego bajo factores socioeconómicos y climáticos desfavorables.

A pesar de todas estas limitaciones que enfrenta Manabí, creo firmemente que este texto contribuirá de manera positiva en lo que respecta al riego. El lector encontrará en estas páginas información detallada sobre la provincia, sus condiciones que definen el riego en el territorio, así como la oferta y la demanda del recurso hídrico para una planificación adecuada del riego. Además, se proporcionarán herramientas prácticas para determinar las propiedades edafoclimáticas de la zona donde se planea implementar un sistema de riego.

Uno de los aspectos más interesantes que se abordará en este libro es “Criterios para definir el método de riego más conveniente”. Esto será de gran relevancia para los productores manabitas y técnicos vinculados al riego en la provincia, ya que la elección del sistema de riego es una inversión que debe considerar múltiples factores, los cuales este libro abordará de manera exhaustiva.

Finalmente, se discutirá cómo evaluar estos sistemas de riego, ya que no basta con tener la información adecuada y un buen diseño e implementación de los sistemas. También es esencial contar con un seguimiento y evaluación para maximizar los beneficios de nuestro sistema de riego.



En definitiva, este texto contiene valiosos conocimientos que ayudarán a comprender mejor las situaciones fundamentales a considerar en el diseño de un sistema de riego en la provincia de Manabí y nos enseñará “Cómo regar en Manabí”. Sin duda, será un gran aporte para mejorar la adopción de métodos, técnicas de riego y hacer un uso más eficiente del recurso hídrico. Además, este libro es el fruto del incansable esfuerzo de un destacado profesional, maestro, ser humano y amigo como lo es el Ing. Ramón Pérez, PhD., a quien agradezco sinceramente el honor que me brindó al permitirme escribir este prólogo. El ingeniero Pérez, cuenta con una profunda experiencia en el campo del riego y un compromiso constante con el desarrollo de Manabí, su contribución con este libro es invaluable. Espero que disfruten de esta excelente obra y que sea de gran utilidad para todos aquellos que tengan la fortuna de sumergirse en sus páginas. ¡Éxitos!

Ing. Mario Sánchez Olivo, MSc.



Introducción

El contenido expuesto en este libro ha sido, en su mayoría, resultado de la ejecución del proyecto de investigación titulado “Estudio Edafoclimático para el diseño y operación de los Sistemas de Riego en Manabí”. Este proyecto ha sido desarrollado por profesores y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí y durante sus cinco años de ejecución se han generado más de 10 trabajos de titulación, cuatro artículos científicos y numerosas presentaciones de resultados parciales de investigación en eventos científicos.

La intención fundamental de esta publicación es contribuir de manera asequible al conocimiento de quienes participan en la gestión del riego en Manabí y también en regiones con características análogas. Es por eso que, sin hacer concesiones de rigor, se ha procurado mantener un lenguaje técnico de fácil comprensión para el lector a la vez que se abordan cuestiones de carácter práctico relacionadas con la planificación y ejecución del riego en las parcelas.

El estudio parte de una caracterización climatológica y de suelos de la Provincia enfocado a la posterior planificación del régimen de riego de los cultivos.

Se ofrecen alternativas de manejo de riego y los consumos de agua asociados a cinco cultivos permanentes en diferentes escenarios de clima y suelos. Finalmente se abordan aspectos esenciales de los métodos y las técnicas de riego, ofreciendo elementos de análisis para la correcta selección del sistema de riego a implementar en cada zona basados en criterios técnicos exclusivamente.

Se añade un capítulo final donde se brindan ideas útiles para la evaluación y mejoras del riego a nivel parcelario en el cual se incluyen métodos para la medición de caudales en conducciones libres y presurizadas, evaluación de la uniformidad del riego en sistemas de aspersión y riego localizado con ejemplos numéricos resueltos.

Esta publicación también tiene el propósito de apoyar como bibliografía complementaria a profesores y estudiantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las carreras y programas de maestría donde se imparten contenidos relacionados con el riego.

Con la esperanza de poder lograr un aporte al conocimiento del riego en Manabí desde estas páginas, dejamos en sus manos esta publicación.

Los autores



Capítulo 1

Aspectos generales de la provincia

1.1. Características Generales de Manabí

Manabí es una provincia ecuatoriana localizada en el emplazamiento centro-noroeste del Ecuador continental, cuya unidad jurídica se ubica en la región geográfica del litoral, que a su vez se encuentra dividida por el cruce de la línea equinoccial. Su capital es Portoviejo. Limita al oeste con el océano Pacífico, al norte con la provincia de Esmeraldas, al este con la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y provincia de Los Ríos, al sur con la provincia de Santa Elena y al sur y este con la provincia del Guayas. Manabí con una población de 1,395.249 habitantes, es la tercera provincia más poblada de Ecuador. Su temperatura promedio es de 25 grados centígrados y posee un clima subtropical entre seco y húmedo.

La división político-administrativa del Ecuador divide a la provincia de Manabí en 22 cantones, formados a su vez por 59 parroquias urbanas y 53 parroquias rurales como lo muestran la tabla 1.1, figura 1.1, figura 1.2.

Tabla 1.1.

Cantones y parroquias rurales de la provincia de Manabí

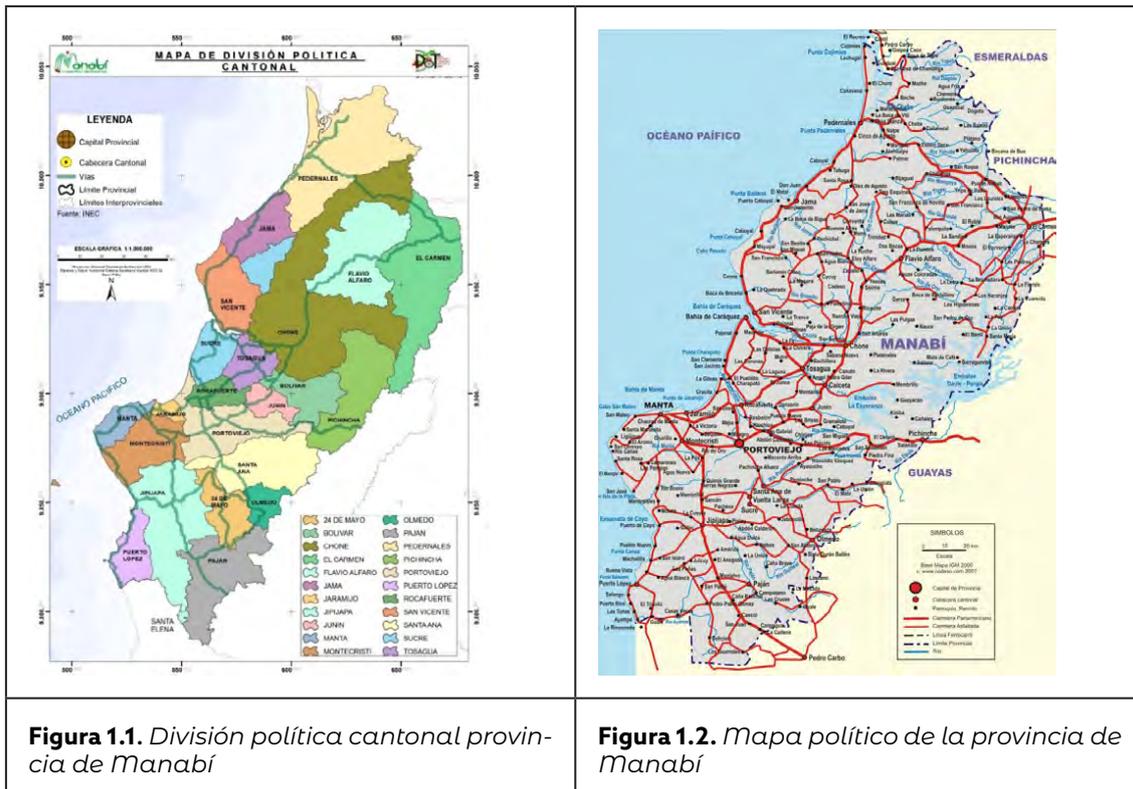
		Cantones	Parroquias Rurales	Parroquias Urbanas
Zona Nor- te	Noro- oriental	 El Carmen	Wilfrido Loor y San Pedro de Suma	El Carmen y 4 de diciembre
		 Flavio Alfaro	Novillo y Zapallo	Flavio Alfaro
		 Chone	Chibunga, Convento, Eloy Alfaro, Ricaurte, Boyacá, San Antonio y Canuto	Chone y Santa Rita
	Costa Norte	 Pedernales	Atahualpa, Cojimíes y 10 de Agosto	Pedernales
		 Jama	---	Jama
		 San Vicente	Canoa	San Vicente
		 Sucre	San Isidro y Charapotó	Bahía de Caráquez, Leonidas Plaza Gutiérrez, Canoa, Cojimíes, 10 de Agosto, Jama, Pedernales y San Vicente

¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

		Cantones	Parroquias Rurales	Parroquias Urbanas
Zona Centro	Centro Norte	 Pichincha	Barraganete y San Sebastián	Pichincha
		 Tosagua	Bachillero y Ángel Pedro Giler	Tosagua
		 Junín	---	Junín
		 Bolívar	Quiroga y Membrillo	Calceta
	Metropolitana	 Manta	Santa Marianita y San Lorenzo	Los Esteros, Manta, San Mateo, Tarqui y Eloy Alfaro
		 Montecristi	La Pila	Aníbal San Andrés, Montecristi, El Colorado, General Eloy Alfaro, Leonidas Proaño y Jaramijó
		 Jaramijó	---	Jaramijó
		 Portoviejo	San Plácido, Alajuela, Chirijos, Abdón Calderón, Riochico, Pueblo Nuevo y Crucita	Portoviejo, 12 de Marzo, Colón, Picoazá, San Pablo, Andrés de Vera, Francisco Pacheco, 18 de Octubre y Simón Bolívar
		 Rocafuerte	---	Rocafuerte
	Zona Sur	Centro Sur	 Santa Ana	Honorato Vásquez, Ayacucho, La Unión y San Pablo de Pueblo Nuevo
 24 de mayo			Noboa, Bellavista y Sixto Durán Ballén	Sucre
 Olmedo			---	Olmedo
Sur		 Jipijapa	Pedro Pablo Gómez, El Anegado, La América, La Unión, Julcuy, Membrillal y Puerto Cayo	Dr. Miguel Morán, Lucio Manuel Inocencio Parrales, San Lorenzo de Jipijapa, Jipijapa, Machalilla y Puerto López
		 Paján	Guale, Lascano, Campozano y Cascol	Paján
		 Puerto López	Salango y Machalilla	Puerto López y Machalilla





Fuente: https://www.galapagos-reise.com/TurismoEcuador/Mapa_Manabi.html

La naturaleza en Manabí es muy diversa. La provincia posee montañas, ríos, lagos, cascadas, humedales, bosques seco tropical y húmedo, 350 Km de playas, islas, cuevas, valles, colinas, etc. Las principales actividades económicas son: la agricultura (cacao, café, banano, maíz, arroz, algodón, frutas); los recursos forestales; el ganado vacuno y porcino; la avicultura; las camaroneras; las agroindustrias (fabricación de grasas y aceites, confitería, químicos, papel, cerámica); la artesanía de paja toquilla y mimbre y la minería (calizas, arcilla, yeso). Manabí posee una excelente cocina regional, entre sus platos típicos se encuentra: el viche (sopa de pescado y maní), el sancocho (sopa de pescado y plátano), empanadas de verde, patacones, hayacas (versión costeña de los tamales serranos), cebiches, sal prieta, etc.

1.2. Topografía

Por tratarse de una provincia de la costa, Manabí tiene escasas elevaciones que no sobrepasan los 500 metros, sobre el nivel del mar. De la provincia del Guayas viene la cordillera del Chongón – Colonche y toma los nombres de cerros de Paján y luego de Puca. Esta cordillera es la columna vertebral de la región.

En el cantón de Montecristi existen los cordones aislados de los cerros de este nombre y los cerros de Hojas. Hacia el norte se dirige la cordillera de Balzar, que se encuentra en



los cerros de Los Liberales y de Canoa. De allí sigue un ramal que se une con los cerros de Jama que continúan hacia el norte con los cerros de Coaque.

Los accidentes geográficos de mayor importancia son de norte a sur: la península de Cojimíes; los cabos Pasado, San Mateo y San Lorenzo, las puntas Cojimíes, Surrone, Brava, Charapotó, Jaramijó, Cayo y Ayampe; las bahías: de Cojimíes, de Caráquez y de Manta; las ensenadas: Jama, Crucita, Cayo o Machalilla. Frente a Cayo, a una distancia de 15 Km de la costa se encuentra la isla de La Plata, que tiene una extensión de 4,5 Km de largo por 1,5 Km., de ancho. Otra isla más pequeña que la anterior es la de Cojimíes (figura 1.4).

Figura 1.3.

Mapa Topográfico Manabí



1.3. Extensión

La provincia de Manabí está localizada en la zona costera de la República del Ecuador, en la saliente más occidental de América del Sur sobre el océano Pacífico. Limita al norte con Esmeraldas; al sur con Santa Elena; al este con Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos y Guayas; y, al oeste con el océano Pacífico. Se extiende a ambos lados de la línea



equinoccial, de 0°,25 minutos de latitud norte hasta 1°,57 minutos de latitud sur y de 79°,24 minutos de longitud oeste a los 80°,55 minutos de longitud oeste. La longitud de su línea costera desde Cojimíes hasta Ayampe alcanza los 354 Km y su ancho promedio hasta los límites orientales con Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayas es de aproximadamente 80 Km. La distancia en línea recta desde los límites con Esmeraldas hasta el sur con Santa Elena es de 250 Km.

1.4. Población

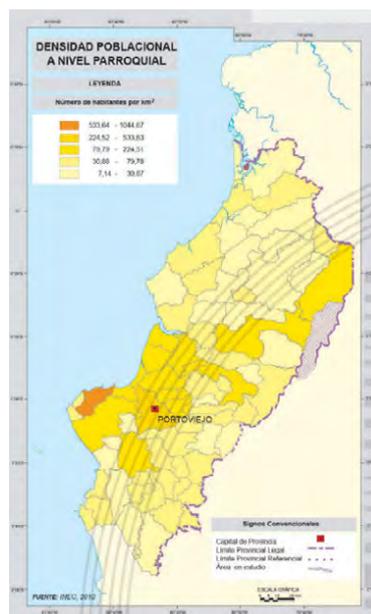
Según datos del último censo de población y vivienda realizado en Ecuador, la población de la provincia de Manabí asciende a 1.369.780 habitantes; de los cuales el 49,7% son mujeres y el 50,3% restante son hombres. En los últimos 50 años la tasa de crecimiento poblacional ha disminuido considerablemente, de 3,63 en el año 1962 a 1,6 en el 2010.

El 69,7% de la población se autodefine como mestizo y el 19,2% como montubio. El 26% de las mujeres están económicamente activas, así como el 66% de los hombres, lo que define que solo el 46% de la población manabita se encuentra vinculado laboralmente. De ellos el 26,4% es empleado del estado, el 24,6% es empleado privado y el 21,8% es jornalero o peón.

El 10,2% de la población es analfabeta, considerándose el nivel de escolaridad de 8,5 (10,2 en áreas urbanas y 6,2 en rurales). Las mujeres tienen un nivel más alto de escolaridad que los hombres (Ecuador en cifras, 2010). (figura 1.4).

Figura 1.4.

Población provincia de Manabí



Fuente: Geoportat (2012)



1.5. Principales renglones económicos

En Manabí al año 2019, el Valor Agregado Bruto (VAB) fue de 5.829.023 (miles de USD, corrientes) predominando mayoritariamente el sector terciario con un 70,51% impulsado por el desarrollo de la construcción, manufactura, comercio y transporte; seguido por el sector secundario (procesador de la materia prima) con un 18,76%; y, el sector primario (incluidas las actividades de agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, la explotación de minas y canteras), con únicamente el 10,73% de la economía provincial.

Es importante tener en consideración que el comportamiento que ha tenido la economía provincial depende de los indicadores de sus cantones. En este sentido, cabe destacar que los cantones con mayor participación al VAB provincial (del año 2010 al 2019) han sido Manta, Portoviejo y Montecristi, los cuales acumulan el 66,36% del total provincial, con factores de crecimiento que están en torno al 0,74, 0,41 y 0,90 respectivamente. El cantón Jaramijó es el único de la provincia que presentó un crecimiento del VAB de 7,35 veces del año 2010 al 2019, posicionándolo como la 5^{ta} economía más fuerte de la provincia y, en términos de evolución histórica, como la más próspera; lo que puede deberse a su cercanía con la ciudad de Manta como eje dinamizador que facilita que varias industrias se trasladen a Jaramijó. Esta condición es producto de los efectos locomotora o arrastres, que devienen en Jaramijó al colindar con una economía fuerte como la de Manta, la cual le traslada un componente industrial importante, que en el margen se traduce como un crecimiento interanual rápido.

En Manabí, las actividades del sector primario como la agricultura, ganadería, acuicultura, pesca, explotación de minas y canteras presentan baja participación en el VAB total provincial. Sin embargo, por la intensidad de trabajo que requiere y al encontrarse extendidas en el territorio debido principalmente a su superficie, estabilidad climática y topografía de suelo; emplean a gran cantidad de la Población Económicamente Activa. Así mismo, el sector primario posee una producción de bajo valor agregado lo que repercute en el nivel del Valor Agregado Bruto provincial.

Dentro del sector primario el sector agropecuario es el que más aporta en la actualidad a nivel provincial. Así mismo, el desarrollo de la actividad pesquera cuenta con ventajas comparativas fruto de la tradición de la población litoral, la ubicación geográfica, la infraestructura portuaria y aérea, el acceso vial a los principales mercados de consumo como Guayaquil, Quito y Santo Domingo de Los Tsáchilas. Por lo tanto, Manta es el primer puerto pesquero del Ecuador y el primero en desembarques de atún a lo largo del Pacífico Sur Oriental, situación que lo posiciona estratégicamente como un referente económico dentro del territorio provincial. Por último, la explotación minera y de canteras, así como el de suministro de energía y agua, son las actividades de menor participación en la economía provincial (figura 1.5).



Figura 1.5.

Resumen del sector primario en la economía provincial



Elaboración: Gobierno Provincial de Manabí (2021)

Fuente: Banco Central del Ecuador (2019)

1.6. La Agricultura Familiar Campesina

Existen diversas definiciones de Agricultura Familiar Campesina, sin embargo, hay aspectos comunes en todas ellas que pueden agruparse para definirla como un modelo de agricultura en manos de los pequeños productores que por general tienen un acceso limitado a la tierra y al capital, producen, casi siempre, con fuerza de trabajo familiar y su producción se destina primordialmente al consumo interno. Otro aspecto que la distingue es que los campesinos resaltan su vínculo con la tierra y su cuidado, así como el cuidado de su familia.

Este tipo de agricultura no solo se considera como una forma de producción, sino también como parte de la cultura local donde intervienen elementos de carácter social.

La Agricultura Familiar representa el 84,5% de las UPAs con una concentración de 20% de la tierra, cuenta con 37% del agua para riego y se dedica principalmente a la producción para la satisfacción de las necesidades básicas. Más del 64% de la producción agrícola nacional está en manos de pequeños productores (FAO, 2022a).

En Ecuador existen dos tipos de AFC según la tipología de Martínez (2013): la Agricultura Familiar Especializada (AFE) y la Agricultura Familiar Diversificada (AFD), donde la primera es aquella cuyos ingresos provienen en más de un 75% de la actividad agropecuaria, mientras que, para la segunda, este rubro proviene apenas en un 25% o menos de la actividad agropecuaria. Marco en el que se observa que a nivel país, existe un predominio de la AFE, que para el año 2006, representaba casi el 60% del total de hogares rurales (58,8%), mientras que casi el 40% restante de hogares en la ruralidad, se dedicaban a la AFD (Martínez, 2013, p.16). De estos datos el citado autor también concluye que, a pesar de que la AFE sigue predominando en la ruralidad, la AFD está adquiriendo una mayor

relevancia, sobre todo en la sierra; siendo que en esta región la mayoría de las provincias dependen económicamente de actividades no agropecuarias. Al contrario, según el autor, la mayor parte de provincias que sí dependen de los ingresos agropecuarios, y que, por ende, se catalogan como AFE, se ubican espacialmente en la costa y la Amazonía (Rodríguez, 2021).

1.7. Clima

La provincia tiene un predominio de los climas tropicales semihúmedos y semisecos, influenciados por las corrientes marinas frías y cálidas perteneciente al sistema hidrográfico del océano Pacífico. Así mismo, el territorio se encuentra influenciado por climas de origen montañoso, oceánico y tropical, con dos estaciones predominantes: seca y lluviosa, y siete microclimas específicos distribuidos en toda la superficie; condiciones que se convierten en un gran potencial para un aprovechamiento productivo sostenible.

Las características climáticas de la provincia, como en toda la costa ecuatoriana, están determinadas por la influencia de las corrientes marinas del Pacífico Oriental. La corriente fría de Humboldt, que se desplaza desde el polo sur hacia la zona ecuatorial, provoca que entre los meses de junio a diciembre, una disminución de los valores medios de temperatura y el volumen de precipitaciones, mientras que, la corriente ecuatorial El Niño, por su condición cálida, produce un aumento en la evaporación; y, por tanto, entre los meses de enero y mayo, se producen abundantes lluvias en las costas manabitas y un incremento de los valores de humedad relativa y temperatura (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2015).

Gran parte de la franja litoral presenta un clima tropical megatérmico semiárido, con una superficie de 272.712,64 ha, que corresponde el 14,04% del total provincial. El volumen de precipitaciones es menor a 500 mm con una sola estación lluviosa de enero a abril y una alta irregularidad interanual de las precipitaciones. Las temperaturas medias anuales varían de 20 a 26° C y la humedad relativa es del 80%. Así mismo, el clima tropical megatérmico (Seco), con incidencia en una franja litoral y en una zona continental interior, mantiene precipitaciones anuales que varían entre los 500 a 1000 mm anuales, con una estación lluviosa de enero a abril y un verano muy seco y de temperaturas elevadas. La superficie donde se puede encontrar asciende a 437.369,24 ha, área que equivale al 22,52% del total provincial. Ambas condiciones climáticas predominantes sobre la franja costera provincial posicionan la zona con potencialidades climáticas para su aprovechamiento turístico de sol y playa durante todo el año; así como un desarrollo de actividades agroproductivas afines al tipo de suelo, su valor ambiental y el clima existente.

El clima con mayor predominio en el territorio es el tropical megatérmico (semi-húmedo), extendido desde el norte hasta el sur y ubicado en la zona central de la provincia. El mismo



abarca una superficie de 1.134.113,20 ha, lo que corresponde el 58,41% del total provincial, con precipitaciones que varían de 500 a 1000 mm de lluvia, registradas mayoritariamente entre diciembre y mayo. Durante el período seco, las temperaturas medias superan los 24 °C, y los valores de humedad decrecen en torno al 70%, favoreciendo un tipo de vegetación y tipologías de cultivos propios de estos pisos climáticos.

Por último, el clima megatérmico húmedo, es el menos extendido en el territorio con una superficie de 97.547,11 ha, abarcando solo el 5,02% del total provincial y concentrado fundamentalmente en el extremo noreste. Teniendo en cuenta que el volumen pluviométrico de esta zona puede alcanzar valores entre los 1000 a 2000 mm/año, y las temperaturas fluctúan alrededor entre los 15 y los 24°C según la época, esta franja es la que mayores potencialidades posee desde el punto de vista climático para la captación y almacenamiento hídrico. En este sentido, el área bajo la influencia mencionada requerirá un tratamiento especial el cual permita no solo potenciar su independencia desde el punto de vista productivo, sino también la necesaria protección de sus zonas boscosas, en vistas de garantizar un mayor balance ambiental, para dotar de dicho recurso a las zonas con mayores limitaciones. Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, en el territorio se registran datos de 34 estaciones pluviométricas desde 1963 hasta 2013, confirmando que la distribución geográfica de las lluvias y, por tanto, la disponibilidad del recurso es notablemente mayor en la zona noreste dominada por un clima tropical húmedo, en comparación a los registros de las zonas suroeste, con características semisecas y secas fundamentalmente. A continuación, se presenta una cartografía que evidencia la distribución de las isoyetas en la provincia.

1.8. Suelos

Los suelos de Manabí responden en lo fundamental, según su formación, a suelos Inceptisoles (427.435,82 ha), los cuales presentan un grado de desarrollo incipiente o pobre; con propiedades físicas y químicas muy variables, como por ejemplo: suelos desde mal drenados a bien drenados, texturas de arenosas a arcillosas, pH de ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos, con saturación de bases mayor o menor a 60%, etc.; estas propiedades han sido estratégicamente aprovechadas en el sector agrícola en cultivos claves en la economía del país, como cacao, maíz duro, palma africana y banano.

También se pueden encontrar ampliamente en la provincia suelos Mollisoles (338.850,62 ha); cuya principal característica es la existencia de un horizonte superficial rico en materia orgánica y bases de cambio, de color oscuro y con otras excelentes propiedades físicas favorables para el desarrollo radicular. Estos suelos se desarrollan en una gran variedad de regímenes climáticos desde secos a muy húmedos, y desde cálidos a muy fríos. La mayoría de ellos presentan una vegetación de pastizal, aunque también se les encuentra

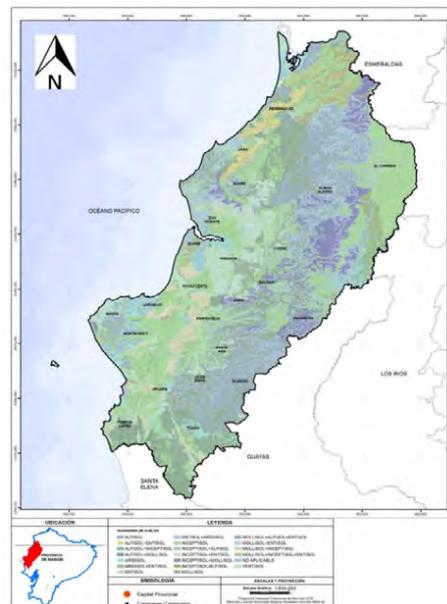
¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

bajo vegetación forestal. En cuanto a los cultivos su aprovechamiento más frecuente en el país es para cacao, maíz suave, maíz duro, caña de azúcar y papa. Cabe mencionar que algunas de las producciones más altas del mundo se han obtenido en estos suelos. En menor medida, también se encuentran suelos Alfisoles, Entisoles, Aridisoles y Vertisoles y en ese orden (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SIGTIERRAS, s.f.) (figura 1.6, figura 1.7).

Figura 1.6.

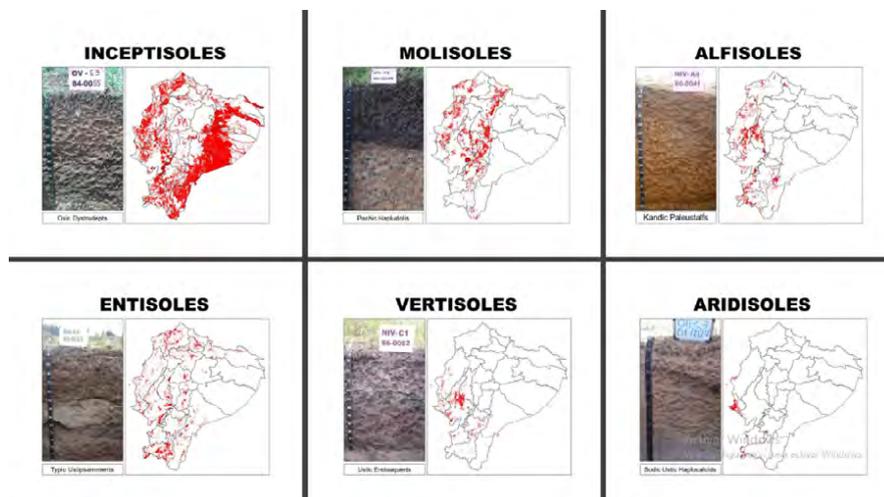
Mapa de Suelos de la provincia Manabí



Fuente: Consejo Provincial de Manabí (2015)

Figura 1.7.

Distribución por tipos de suelos



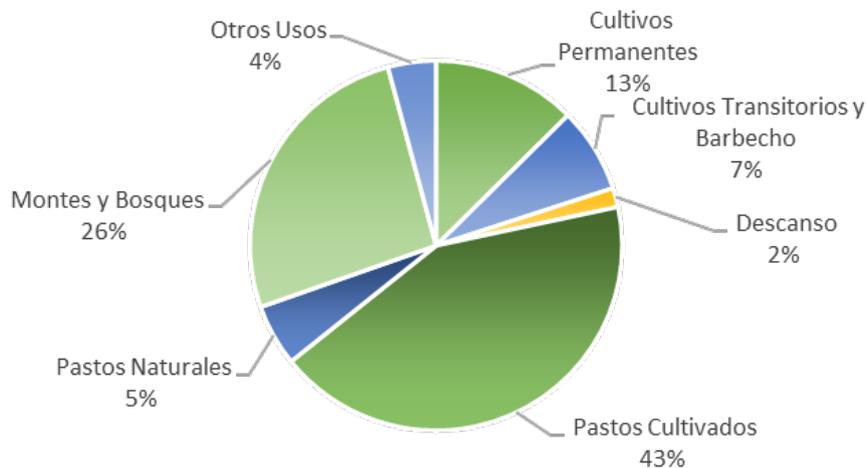
Manabí ocupa el 13% de suelo total del país, destacándose con un 33% el uso relacionado con los pastos cultivados. Como parte de la Región Costa, la provincia lidera, no solo la de mayor superficie, ocupando el 33% de la región, sino también en lo referente a el área para descanso, los pastos cultivables, los pastos naturales, los montes y bosques y otros usos (ESPAC, 2020).

1.9. Uso de Suelo y Cultivos

Los Pastos Cultivados ocupan el mayor porcentaje del suelo en la provincia de Manabí (43%), seguido de los Montes y Bosques con el 26%; siendo el suelo dedicado al Descanso el que ocupa menor área (2%) (CONGOPE, 2016) (figura 1.8).

Figura 1.8.

Uso de Suelo provincia de Manabí



La superficie con labor agropecuaria de la provincia es de 1.068.929 Ha.; la producción anual de plátano en Manabí representa el 35,10% respecto a la producción nacional de este cultivo; mientras que, la producción anual de maíz duro seco representa el 29,82%. (Tabla 1.3 y Figura 1.9)

Tabla 1.2.

Superficie y producción agropecuaria provincia de Manabí

Cultivos		Superficie (ha)		Producción Anual (Tm.)
		Plantada	Cosechada	
Permanentes	Plátano	45.227	40.498	305.533
	Palma Africana	10.966	8.571	80.964

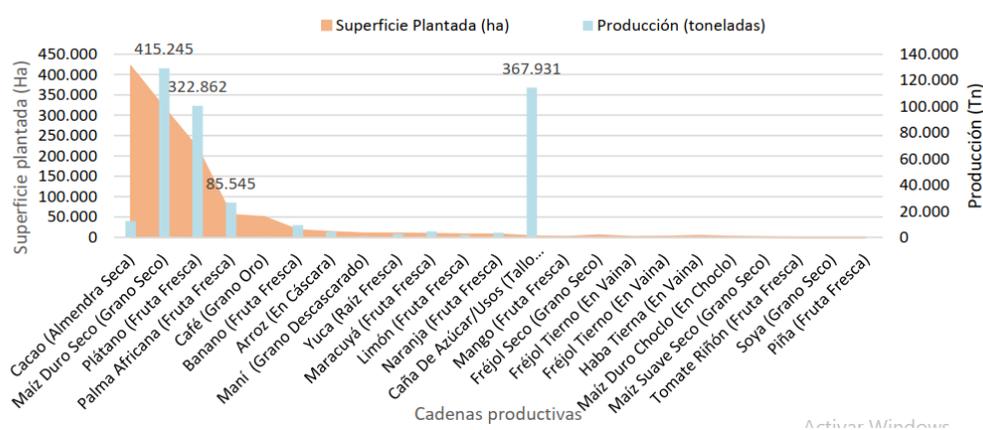


Cultivos		Superficie (ha)		Producción Anual (Tm.)
		Plantada	Cosechada	
Transitorios	Maíz duro seco	111.405	108.190	507.064
	Arroz en cáscara	11.345	11.290	41.075

Fuente: Ecuador en cifras (2021)

Figura 1.9.

Superficie plantada respecto a la producción agrícola en la provincia de Manabí



Fuente: INEC (2019)

La agricultura, distribuida en usos de suelos de tipo cultivos perennes, está compuesto de 233.780 ha consignadas destacando el cacao, café, plátano, palma aceitera; así como, usos para cultivos transitorios o de ciclo corto para la siembra de maíz, arroz, hortalizas, alcanzando cifras en torno a 112.816 ha de extensión. Los cultivos transitorios constituyen un segmento de mucha importancia para los agricultores, especialmente, para aquellos que no cuentan con sistemas de riego y siembran en periodos invernales, poniendo todo su recurso humano y económico en la producción de estos.

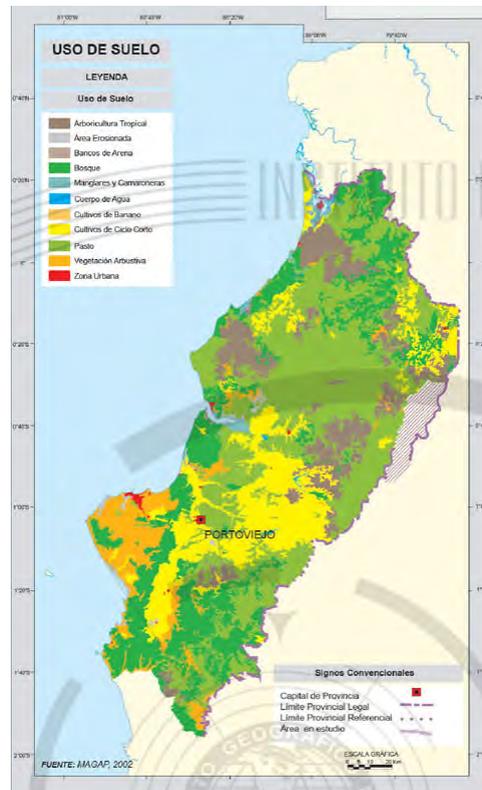
Según el Consorcio de Gobiernos Provinciales del Ecuador (CONGOPE, 2018) el cambio de uso de suelo para agricultura y ganadería desde la década de los 90 se ha incrementado en 55.000 ha, en detrimento de las áreas de bosques, lo cual se concibe como una externalidad negativa, repercutiendo en el balance de los ecosistemas y equilibrio climático. Adicionalmente, de acuerdo con el procesamiento de información disponible en el geoportal del Instituto Espacial Ecuatoriano en la última década, el 39,13% de los cultivos agropecuarios de la provincia se encuentran en zonas aptas, el 35,21% en zonas aptas con manejo para conservación de suelo y al menos el 25,56% en zonas no aptas para actividades agropecuarias;



todos estos criterios evaluados según las condiciones geomorfológicas y la calidad del suelo (figura 1.10).

Figura 1.10.

Uso de Suelo provincia de Manabí



Fuente: Geoportal (2012)

1.10. Recursos Hídricos e Infraestructura Hidráulica

El Plan Hidráulico de Manabí (PHIMA) identificó 22 cuencas hidrográficas (figura 1.11), siendo las redes fluviales más importantes hacia el oeste las del río Chone (que nace en las montañas de Conguillo) y la del río Portoviejo (que nace de las montañas de Paján y Puca); y que son, precisamente, los que se inundan con mayor frecuencia.

Las 22 cuencas hidrográficas se encuentran distribuidas en: Cuencas del Norte, Cuencas de la Zona Central, Cuencas del Suroeste, Cuencas Orientales y Cuencas del Sur.

A las cuencas del Norte corresponden los ríos: Cojimíes, con 712 km², Coaque con 715 km², Don Juan con 204 km², Jama con 1.308 km², Canoa con 356 km², Briceño 342 km², y Bahía con 544 km². En las cuencas hidrográficas centrales se encuentran: Chone con 2.267 km² y Portoviejo con 2.060 km² (figura 1.11).

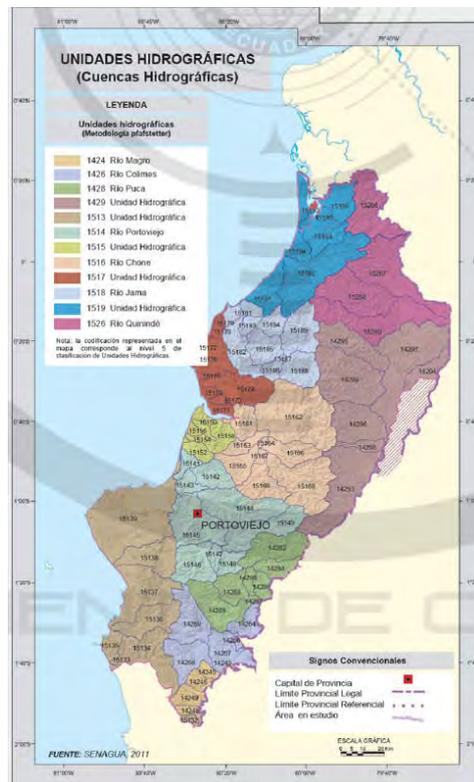


¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Figura 1.17

Unidades Hidrográficas provincia de Manabí



Fuente: Geoportal (2012)



se utilizaron dos métodos propuestos por Campos (1998): el método del U.S. National Weather Service y el método Racional Deductivo.

Para definir la cantidad de agua que va a requerir un cultivo como complemento a las precipitaciones es necesario calcular el Régimen de Riego de Proyecto de un Cultivo. Este procedimiento se basa en el procesamiento estadístico de datos históricos de las precipitaciones y la evaporación en la zona a regar.

Se utiliza para este análisis estadístico un criterio llamado “probabilidad de ocurrencia” o “probabilidad de sobrepaso” que significa la probabilidad de que una lluvia sea superior a determinado valor o magnitud.

Un diseño conservador estará basado en una probabilidad más alta (lo cual significa una lluvia de diseño baja), con lo cual se pretende obtener una mayor “garantía” en el Proyecto de Régimen de Riego. Para estudios de riego es recomendable trabajar con un 75% de probabilidad de sobrepaso de la lluvia.

La determinación del año con la probabilidad de sobrepaso de la Precipitación del 75% se realizó mediante la aplicación de 10 métodos empíricos propuestos por González y cols. (2003) y Raes (2013), según se muestra en la tabla 2.1. En esas expresiones **m** es el valor de la posición del elemento en la serie de datos y **n** es el número total de datos de la serie o tamaño de la serie.

Tabla 2.1.

Expresiones para el cálculo de la probabilidad empírica p (%)

Métodos	Fórmulas para el cálculo de la Probabilidad de Sobrepaso
California (1923)	$p = \frac{m}{n} * 100$
Hazen (1930)	$p = \frac{(m - 0,5)}{n} * 100$
Weibull (1939)	$p = \frac{m}{(n + 1)} * 100$
Chegodaeff (1955)	$p = \frac{(m - 0,3)}{(n + 0,4)} * 100$
Bloom (1958)	$p = \frac{(m - 0,38)}{(n + 0,25)} * 100$
Alexeeff (1960)	$p = \frac{(m - 0,25)}{(n + 0,25)} * 100$



Métodos	Fórmulas para el cálculo de la Probabilidad de Sobrepaso
Turquey (1962)	$p = \frac{(3m - 1)}{(3n + 1)} * 100$
Blojinoff (1976)	$p = \frac{(m - 0,40)}{(n + 0,20)} * 100$
Sevruk y Geiger (1981)	$p = \frac{(m - \frac{3}{8})}{(n + \frac{1}{4})} * 100$
Gringorten (1983)	$p = \frac{(m - 0,44)}{(n + 0,12)} * 100$

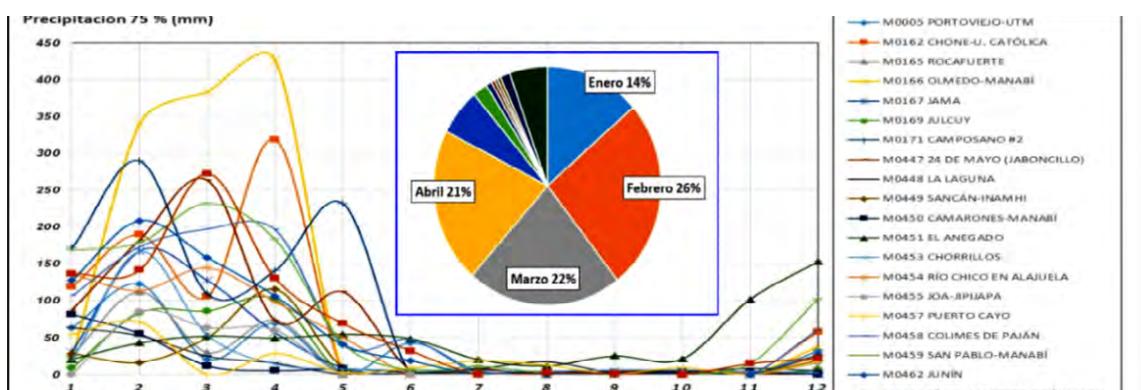
Fuente: Raes (2013)

El análisis de la homogeneidad de las series de datos se realizó según la propuesta de González et al. (2003), en el cual se desarrollan dos fases: una exploratoria y una confirmatoria. Para verificar la adaptación de las probabilidades empíricas a la distribución normal, se deben realizar pruebas que permitan corroborar la bondad de los ajustes teóricos. Este proceso se realiza a partir de una comparación de los valores obtenidos de los métodos de frecuencia acumulada con los de la distribución normal, para ello se calcula la variable normal estándar **z**, en la expresión presentada por Chow y cols. (1994).

En la figura 2.2 se aprecia el comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas en la provincia.

Figura 2.2

Comportamiento mensual de la precipitación del 75% de probabilidad de sobrepaso para las 20 estaciones analizadas



Como se puede observar en la figura 2.2, existe una coincidencia en la mayoría de las estaciones con respecto al período del año con mayores precipitaciones en Manabí. Durante los meses de enero a abril cae el 83% de toda la lluvia promedio anual. El 14% de la precipitación promedio anual se registra en el mes de enero. El mayor porcentaje de lluvia ocurre durante el mes de febrero con un 26% del promedio anual. Posterior a ello le siguen los meses de marzo (22%) y abril (21%). Con esta distribución, queda un 17% de precipitaciones que se distribuye durante los 8 meses restantes (mayo a diciembre), por lo tanto, es durante este período que las programaciones de un riego preciso se hacen necesarias.

En la tabla 2.2 se muestran los valores de precipitación mensual obtenidos para cada estación meteorológica en el año del 75% de probabilidad de sobrepaso. Estos valores son los que sirven de base para realizar las planificaciones del Régimen de Riego de Proyecto de los Cultivos en Manabí.

Tabla 2.2

Valores de precipitación mensual y anual obtenidos para cada estación meteorológica en el año del 75% de probabilidad de sobrepaso

ESTACIONES METEOROLÓGICAS MANABÍ		Año 75% de probabilidad de sobrepaso	PRECIPITACIÓN MENSUAL												Precipitación anual ordenada
Código Nuevo	DESCRIPCIÓN		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
M0166	OLMEDO-MANABÍ	2005	21.20	340.40	383.40	426.40	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	37.00	1212.40	
M0171	CAMPOSANO #2	2003	171.40	289.80	109.00	141.00	231.70	0.00	0.00	1.60	0.00	1.60	0.00	2.30	948.40
M0459	SAN PABLO-MANABÍ	2010	167.70	179.00	232.20	182.80	42.00	5.90	11.00	2.00	0.80	0.40	14.80	101.90	940.50
M0458	COLIMES DE PAJAN	1990	106.40	173.00	197.20	196.00	39.70	47.00	1.60	0.00	0.30	0.00	60.50	821.70	
M0464	RÍO CHAMOTETE-JESU	1991	136.60	141.50	272.50	130.10	68.70	31.50	0.00	2.30	0.90	0.00	14.40	21.90	820.40
M0162	CHONE-U. CATÓLICA	2005	119.00	189.80	105.50	319.00	4.70	1.40	0.80	0.20	1.50	2.50	1.10	57.40	802.90
M0447	24 DE MAYO (JABONC)	2004	87.20	182.50	263.50	72.70	111.70	5.80	7.90	0.20	4.30	4.00	0.80	0.00	740.60
M0462	JUNIN	2000	127.70	208.70	158.30	106.28	39.88	18.30	0.00	0.00	0.00	0.00	26.50	685.66	
M0451	EL ANEGADO	1997	20.40	42.50	52.10	49.00	54.40	48.20	19.90	11.50	25.00	20.80	101.60	152.90	598.30
M0454	RÍO CHICO EN ALAJUE	1991	136.20	113.70	144.60	98.40	50.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.50	566.60
M0167	JAMA	1996	30.40	167.20	127.40	56.60	8.70	0.10	6.70	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	397.30
M0005	PORTOVIEJO-UTM	2011	63.10	122.40	20.30	69.40	0.30	42.50	4.50	0.00	0.10	1.30	0.00	31.30	355.20
M0453	CHORRILLOS	1993	18.70	166.40	53.20	13.80	7.30	5.70	4.70	4.20	6.10	5.90	3.90	2.00	291.90
M0169	JULCUY	2005	8.30	83.40	86.00	101.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.70	284.90
M0165	ROCAFUERTE	2011	25.80	112.00	29.50	73.80	0.00	6.40	0.50	0.00	1.00	0.00	0.00	5.30	254.30
M0449	SANCÁNINAMHI	2007	28.30	16.10	49.90	115.50	9.40	0.20	5.40	1.30	0.00	0.00	0.30	18.50	244.90
M0455	JOAJIPIAFA	2005	0.00	84.70	63.40	59.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	223.40
M0457	PUERTO CAYO	2011	54.40	71.00	0.00	28.00	2.40	8.50	18.20	12.30	1.00	8.90	0.00	17.20	221.90
M0448	LA LAGUNA	1990	63.10	52.40	24.60	15.00	0.00	1.50	8.00	16.80	2.60	3.70	8.20	4.90	200.80
M0450	CAMARONES-MANABÍ	2009	81.40	55.10	11.50	5.00	7.50	2.30	0.80	3.60	2.42	4.40	3.70	0.00	177.72
Promedio mensual			73.37	139.58	119.21	113.01	34.08	11.27	4.50	2.80	2.30	2.74	7.44	29.21	539.49

Fuente: Pérez y cols. (2018)

Un aspecto que debe tenerse presente al momento de determinar los posibles aportes por lluvia a los cultivos es que no toda la precipitación que cae en la parcela cultivada es aprovechada por las plantas. Existe una fracción de esta que no se convierte en reserva de humedad disponible en el suelo por lo que se debe considerar como ingreso solamente la Precipitación Efectiva para definir el Régimen de Riego de Proyecto.

¿Qué es la Precipitación Efectiva o Lluvia Aprovechable y cómo se determina?

Según van Veenhuizen (2000),

No toda el agua de lluvia que cae sobre la superficie del suelo puede realmente ser utilizada por las plantas. Parte del agua de lluvia se filtra a través de la superficie y parte



fluye sobre el suelo en forma de escorrentía superficial. Cuando la lluvia cesa, parte del agua que se encuentra en la superficie del suelo se evapora directamente a la atmósfera, mientras que el resto se infiltra lentamente en el interior del suelo. Del total del agua que se infiltra, una parte percola por debajo de la zona de raíces, mientras que el resto permanece almacenado en dicha zona y podría ser utilizada por las plantas.

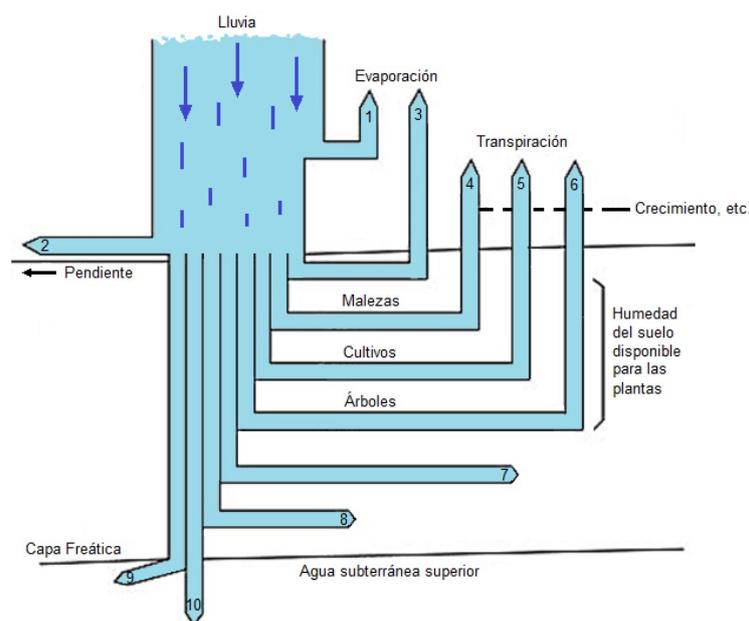
Esto significa que el término “precipitación efectiva” es utilizado para definir esa fracción de la lluvia que estará realmente disponible para satisfacer al menos parte de las necesidades de agua de las plantas.

La precipitación que recibe un suelo infiltrará en mayor o menor proporción de acuerdo una serie de factores entre los que figuran: la pendiente, la vegetación que lo cubre, la textura, el contenido de humedad de las capas superficiales, la intensidad y cantidad de agua caída, etc. Los métodos para estimar la cantidad de agua que se añade al almacenaje de un suelo con cada precipitación son muchos y cada uno de ellos toma solo algunos de los factores mencionados, por lo que sus resultados suelen ser diversos. La utilización de uno u otro método queda a elección del técnico, de acuerdo con los datos que se posean de la zona en estudio, o a la mayor o menor confiabilidad que le merezcan los mismos. También puede realizarse el cálculo por distintos métodos y tomar luego el promedio de los resultados obtenidos.

Una representación gráfica de la secuencia de los destinos del agua de lluvia se muestra en la figura 2.3 según Shaxson y Barber (2005).

Figura 2.3

Secuencia de los destinos del agua de lluvia



Leyenda

1. Evaporación directa de las superficies húmedas de las hojas.
2. Escorrentía superficial/tormentas.
3. Evaporación directa de la superficie del suelo.
4. 5. y 6. Humedad del suelo disponible para las plantas al alcance de las raíces de las malezas, cultivos y árboles existentes.
7. Humedad del suelo al alcance de las raíces de las plantas existentes pero retenida a tensiones indisponibles para los mismos.
8. Humedad del suelo retenida a cualquier tensión, pero debajo de las raíces de las plantas existentes.
9. Agua no capturada por las raíces y los poros pequeños moviéndose a agua subterránea y flujo de corrientes.
10. Lixiviación a agua subterránea debajo del piso de captura.

A continuación, se resumen las diversas consideraciones, expresiones matemáticas y métodos para calcular la Precipitación Efectiva:

- En la India, según uno de los métodos se considera que solamente son efectivas el 60% de las lluvias estacionales medias; en otro método, se equipara la lluvia efectiva a la lluvia media pero no se toma en consideración las lluvias diarias inferiores a 5 mm y las superiores a 75 mm en un día y a 125 mm en diez; tampoco se consideran efectivas las lluvias caídas después de 5 días del último riego.
- En Birmania, se considera que no son efectivas las lluvias diarias inferiores a 12 mm y que son efectivas en un 80% las superiores a 12 mm.
- En Tailandia, se consideran como efectivas el 80% de las lluvias de noviembre y el 90% de diciembre a marzo.
- En el Japón, en el caso del arroz no inundado, se considera que las lluvias tienen una efectividad del 80%, pero las lluvias inferiores a 1.85 mm y superiores a 30 mm no se toman en consideración.
- En Vietnam, las lluvias diarias de menos de 5 mm y de más de 50 mm, se pasan por alto y se considera que no son efectivas las lluvias en días consecutivos que rebasan una evapotranspiración del cultivo de más de 50mm según la estación, se considera que las lluvias mensuales tienen una efectividad del 65 al 90%.

Aunque estas consideraciones pueden resultar útiles para tener idea de la magnitud de la precipitación efectiva con respecto a la lluvia caída, es recomendable acudir a otras



formas de cuantificación más precisas de este parámetro.

La FAO (1960), definió dos vías para la determinación de la precipitación efectiva. Una es mediante la aplicación de Métodos Empíricos y la otra es a través de Ecuaciones Empíricas.

2.1.1. Determinación de la Precipitación Efectiva mediante Métodos Empíricos

Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes métodos (FAO, 1960):

- Cambios en la humedad del suelo
- Método de balance diario de humedad del suelo
- Medidor integrador
- El método Ramdas
- Lisímetros
- Técnica de tambor para arroz

A pesar de que la mayoría de estos métodos permiten llegar a resultados bastante precisos, requieren en su mayoría de equipamiento especializado e implican costos medios a altos. Estos métodos son más aplicables en zonas donde se desarrollen investigaciones que cuenten con un financiamiento y personal especializado para su instalación y posterior seguimiento.

Atendiendo a que la posibilidad de aplicación inmediata de estos métodos resulta compleja para los diferentes actores de riego en los territorios, estos métodos no serán abordados de manera detallada en esta publicación y se realizará una explicación más exhaustiva de las fórmulas empíricas.

2.1.2. Determinación de la Precipitación Efectiva mediante Fórmulas Empíricas

Estas formulaciones han sido propuestas por diferentes autores a partir de considerar coeficientes que relacionan algunos de los parámetros más influyentes en el aprovechamiento de la lluvia como son la magnitud de esta, la Evapotranspiración del Cultivo, la cobertura del suelo y su pendiente, así como la profundidad de las raíces de las plantas entre otros.

Método de Blaney y Criddle (modificado)

Consiste en aplicar un coeficiente de aprovechamiento diferente a cada 25 mm de lámina de lluvia mensual caída, según el año escogido para el proyecto. A medida que la lluvia va aumentando el coeficiente de aprovechamiento disminuye hasta que para valores mayores de 150 mm es de solamente el 5% como se puede observar en la *tabla 2.3* propuesta por Aguilera y Martínez (citados por Medina, 2002).



Tabla 2.3

Coefficientes de lluvia efectiva según Blaney – Criddle

COEFICIENTES DE LLUVIA EFECTIVA SEGÚN BLANEY-CRIDDLE		
Precipitación observada (mm)	Coefficiente de aprovechamiento (Cp)	Precipitación Efectiva (mm)
0 - 25	95 %	$25 \times 0.95 = 23.75$
> 25 - 50	90 %	$23.75 + 25 \times 0.90 = 46.25$
> 50 - 75	82 %	$46.25 + 25 \times 0.82 = 66.75$
> 75 - 100	65 %	$66.75 + 25 \times 0.65 = 83.0$
> 100 - 125	45 %	$83.0 + 25 \times 0.45 = 94.25$
> 125 - 150	25 %	$94.25 + 25 \times 0.25 = 100.25$
> 150	5 %	$100.25 + 25 \times 0.05 = 101.75$

De esta tabla se puede deducir que la fórmula para calcular la precipitación efectiva (Pe) sería:

$$Pe = P_{observada} * Cp$$

Este método consiste en encontrar unos coeficientes de aprovechamiento en función de la cantidad de lluvia observada. La lluvia observada se tiene que fraccionar en las pulgadas que represente a la cantidad de la lluvia. Las lluvias menores a 5 mm serán lluvias no significativas, o sea que toda lluvia entre 0 y 5 mm se considera que será interceptada por las hojas y que no penetra en el suelo por lo que luego se perderá por evaporación.

La precipitación efectiva entonces se puede definir como la sumatoria del volumen acumulado anterior y el incremento efectivo para este rango. Por ejemplo, si ocurre una precipitación observada de 47 mm, el procedimiento de cálculo sería:

$$Pe = (25 \text{ mm} \times 0.95) + (12 \text{ mm} \times 0.9) = 43.55 \text{ mm}$$

Método de Ogrosky y Mockus

Según Aguilera y Martínez (citados por Medina, 2002), este método determina la efectividad de la lluvia de acuerdo con la relación de Evapotranspiración real del cultivo y Precipitación Observada de ese mes (Et/P), mediante un coeficiente de efectividad de la lluvia (Kp). Por lo que se tendría:

$$Kp = \frac{Et}{P}$$



Entre más baja sea la relación (Et/P) se va a tener un menor coeficiente de aprovechamiento, como se puede observar en la tabla 2.4, entre menor sea la evaporación mayor será la precipitación, esto quiere decir que, menos agua egresa y más agua ingresa.

La precipitación efectiva (mm) es dada por el coeficiente de efectividad de la lluvia y la precipitación observada en (mm):

$$Pe = P_{observada} * Kp$$

Tabla 2.4

Coefficientes de lluvia efectiva

Etr/P	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Kp	0,10	0,19	0,27	0,35	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,65	0,69
Etr/P	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0
Kp	0,72	0,75	0,77	0,80	0,84	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	0,99

Fuete: Ogrosky y Mockus (s.f.)

Para valores de relación Et/P que no se encuentran en la tabla Ogrosky y Mockus (citados por Medina, 2002), se propone la siguiente expresión:

$$Kp = \frac{Et/P}{1.53 + 0.8 \left(\frac{Et}{P}\right)}$$

Método de Savo

Según Bonet y cols. (2015), para la determinación de la lluvia aprovechable por el método Savo se requiere determinar 2 coeficientes mediante las tabla 2.5 y tabla 2.6. El coeficiente **m1** considera las características del suelo, la pendiente del terreno y la precipitación mensual (mm) y el coeficiente **m2** depende de la categoría del suelo, la precipitación mensual ocurrida (en mm) y la profundidad radicular (Rey y De la Hoz, 1979, citado por Bonet y cols. 2015).

- Coeficientes de efectividad (M)

$$M = m1 * m2$$

m1: Pendiente, precipitaciones y tipo de suelo

m2: Capa activa, precipitaciones, profundidad radical y categoría o tipo de suelo



Tabla 2.5

Determinación del coeficiente *m1*

Pendiente del terreno	<0,01			0,01-0,05			>0,05		
	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100
Precipitaciones mensuales (mm)									
Tipo de suelo									
I. Amarillo podsolizado gravilloso arenoso	0,90	0,85	0,80	0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,70
II. Lateritas loamosas arcillas de sabana	0,85	0,80	0,75	0,80	0,75	0,76	0,75	0,70	0,60
III. Tonalidad roja lixiviada	0,80	0,75	0,70	0,75	0,65	0,55	0,65	0,55	0,40
IV. Pardos húmicos carbonatados	0,77	0,72	0,67	0,72	0,62	0,52	0,62	0,52	0,37
V. Cenagosos, turbosos y margosos	0,77	0,72	0,67	0,72	0,62	0,50	0,62	0,52	0,37
VI. Amarillos, podsolizados arcillosos sobre arcilla	0,77	0,72	0,67	0,72	0,62	0,52	0,62	0,52	0,37
VII. Negros grises compactos de gley	0,77	0,70	0,60	0,70	0,60	0,40	0,50	0,50	0,25

Tabla 2.6

Determinación de coeficiente *m2*

Categoría del suelo	I			II			III			IV y V			VI			VII		
	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100	<40	40-100	>100
Lluvia (mm)																		
Profundidad Radicular (m)																		
0,2	1	0,8	0,7	1	0,8	0,7	1	0,9	0,8	1	0,8	0,7	1	1	0,8	1	0,8	0,7
0,4	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	1	0,8	1	0,9	0,8	1	1	0,9	1	0,9	0,8
0,6	1	1	0,9	1	1	0,9	1	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1	1	1
0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Método del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-SCS)

Este método citado y empleado por Villazón y cols. (2021), proviene de un análisis llevado a cabo para diferentes climas semiáridos y subhúmedos, la fórmula empírica fue desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos para estimar la precipitación confiable como el efecto combinado de la precipitación confiable (80% de probabilidad de excedencia) y las pérdidas estimadas debido a la Escorrentía Superficial (ES) y a la Percolación Profunda (PP). Esta fórmula puede ser utilizada para fines de diseño, en caso de que se requiera el valor de la precipitación con 80% de probabilidad de excedencia. Este procedimiento es uno de los que está incluido en el Programa CROPWAT para el cálculo del Régimen de Riego de Proyecto, en el que los valores de la precipitación efectiva mensual (mm) se obtienen mediante la expresión:

$$P_e = (1.25247 * P_t^{0.82416} - 2.93522) * 10^{0.00095U} * f$$

Siendo:

$P_e = P_e$ = Precipitación efectiva mensual (mm)

$P_t = P_t$ = Precipitación total mensual (mm)

U = uso consuntivo medio mensual, equivalente a la evapotranspiración (mm)



$$f = 0.531747 + 0.011621 \times \Delta s - 8.9 \times 10^{-5} \times \Delta s^2 + 23 \times 10^{-7}$$

Siendo:

$\Delta s = \Delta s$ = Dosis de riego neta (mm)

Porcentaje fijo:

$$P_e = a.P_t \quad a = (0.7 - 0.9)$$

Precipitación fiable:

$$P_e = 0.6.P_t - 10 \quad \text{para } P_t < 70\text{mm}$$

$$P_e = 0.8.P_t - 24 \quad \text{para } P_t > 70\text{mm}$$

En la tabla 2.7 se muestra un resumen de las variables que considera cada uno de los Métodos analizados. Como se puede apreciar, los métodos de Savo y de USDA-SCS son los que más factores consideran para el cálculo de la Precipitación Efectiva.

Tabla 2.7

Variables que considera cada uno de los Métodos analizados para el cálculo de la Precipitación Efectiva en Manabí

Métodos	Método Blaney - Criddle	Método Ogrosky y Mocckus	Método Savo	Método USDA-SCS
Precipitación observada mensual	X	X	X	X
Evaporación o Evapotranspiración		X		X
Pendiente del suelo			X	
Tipo de suelo			X	
Profundidad radicular			X	
Factores de corrección		X		X
Dosis de Riego				X
Coefficiente de aprovechamiento	X		X	

Luego de un análisis cuantitativo de los resultados obtenidos por estos métodos se decide considerar como más precisos a los valores de Precipitación Efectiva calculados por los Métodos de Savo y del USDA-SCS. En la tabla 2.8 se muestran los promedios mensuales de precipitación efectiva obtenidos para la provincia Manabí por ambos métodos. Es válido aclarar que estos valores solo constituyen una referencia, los resultados específicos para cada zona deben analizarse a partir de los valores que se generen al aplicar estos Métodos a las condiciones específicas de cada lugar.



Tabla 2.8

Valores promedio mensuales de Precipitación Efectiva en Manabí calculados por el Método de Savo y por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-SCS)

MESES	Precipitación Efectiva (mm)	
	Método de Savo	Método de USDA-SCS
Enero	89,2	98,4
Febrero	143,5	131,6
Marzo	134,6	124,8
Abril	102,8	102,7
Mayo	49,6	55,9
Junio	18,5	20,0
Julio	10,5	11,6
Agosto	7,8	8,5
Septiembre	7,2	7,8
Octubre	8,0	8,6
Noviembre	14,6	15,8
Diciembre	38,9	45,5
Total Anual	625,3	631,2

2.2. Estudio de la Evaporación y la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia en Manabí

Cuando se realiza un Balance Hídrico en el suelo para definir el Régimen de riego de un cultivo, es preciso conocer la cantidad de agua que se evapora del suelo, así como el consumo de agua que hace la plantación.

La Evaporación es cambio del estado de la materia de líquido a gaseoso por efecto de la temperatura. Para el que planifica el riego, la evaporación es cuando el agua que contiene el suelo pasa de líquido a vapor por una elevación de temperatura. Sin embargo, esto no solo ocurre desde el suelo, en la práctica también ocurre salida del agua en forma de vapor a través de las hojas de las plantas. Este proceso fisiológico se denomina Transpiración y representa el consumo de agua que hacen las plantas durante su ciclo de vida.

Se entiende por Evapotranspiración a cantidad de agua del suelo que se incorpora a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación desde el suelo y de la transpiración de las plantas.

El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones (FAO 56): evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{c aj}).

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia (ET_o), que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Este concepto solo considera factores climáticos y es independientemente del



tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo de riego.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc, y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo con las condiciones climáticas reinantes.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ETc.

El cálculo de la Eto se realiza a partir de un procesamiento estadístico de la Evaporación que se reporta por las estaciones meteorológicas próximas a la zona de riego.

Para ello se recopilaron y procesaron los datos de esta variable en todas las estaciones meteorológicas del INAMHI en Manabí (Pérez y cols. 2018).

De las 49 estaciones meteorológicas analizadas, solo dos cumplieron con la condición de registrar al menos el 70% de los datos posibles: Portoviejo (M-005) y Chone (M-162).

Al igual que el procesamiento de las precipitaciones, para estudios de riego es aconsejable trabajar con un 25% de probabilidad de sobrepaso de la evaporación, lo cual complementa la "garantía" del Régimen de Riego de Proyecto.

Para la estación de Portoviejo se determinó que el año 1993 fue el que cumplió con la condición del 25% de probabilidad de sobrepaso mientras que para la Estación de Chone esta condición se cumplió para el año 1991.

En la tabla 2.9 se muestran los valores de Evaporación mensual y anual de las estaciones de Portoviejo y Chone obtenidos para una probabilidad de sobrepaso del 25%.

Tabla 2.9

Valores de evaporación mensual y anual obtenidos para cada estación meteorológica en el año del 25 % de probabilidad de sobrepaso

ESTACIONES METEOROLÓGICAS MANABÍ		Año 25% de probabilidad de sobrepaso	EVAPORACIÓN MENSUAL												Evaporación anual ordenada
Código Nuevo	DESCRIPCIÓN		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
M0005	PORTOVIEJO-UTM	1993	144.2	95.9	118.7	137.5	140.5	117.1	145.4	161.6	154.0	154.8	146.2	152.4	1668.30
M0162	CHONE-LI. CATÓLICA	1991	102.0	98.2	122.4	122.6	113.7	96.6	97.6	101.5	128.3	112.6	104.4	96.0	1294.87
		Promedio mensual	123.10	97.05	120.55	130.05	127.10	106.35	121.49	131.55	141.15	133.70	125.30	124.20	1481.59

Fuente: Pérez y cols. (2018)



La determinación de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o) se realizó mediante la aplicación de nueve métodos propuestos por diferentes autores y considerados por Manzaba (2017). Los mismos se presentan en la tabla 2.10 donde se incluyen las variables que consideran para sus cálculos.

Tabla 2.10

Métodos empleados para de cálculo de la Eto y variables que consideran

No.	Método	Variabes a Considerar para la Eto
1	Blaney-Criddle	Temperatura del Aire, Humedad relativa, Brillo solar y Velocidad del viento.
2	Papadakis	Temperatura media mensual máxima y mínima en un mes.
3	Blaney-Morin	Duración del día, Temperatura media mensual, Porcentaje mensual del total de horas en el año y Porcentaje mensual de humedad relativa.
4	Jensen-Haise	Radiación global incidente y temperatura media del Aire.
5	Tanque evaporímetro	Evaporación medida en tanque evaporímetro y Coeficiente del tanque evaporímetro (Velocidad del Viento, Humedad Relativa, cobertura de suelo y distancia del cultivo a barlovento).
6	Hargreaves-Samani	Radiación solar, radiación extraterrestre y Temperatura media mensual del Aire.
7	García y López	Temperatura media mensual y Humedad relativa media
8	Thornthwaite y Wilm	Coeficiente que depende de la latitud, Temperatura media mensual, calor anual, calor mensual e índice de calor anual.
9	Método de Turc	Humedad relativa media mensual, Factor de corrección de zona climática, Temperatura media mensual, Radiación global incidente, Radiación extraterrestre, Insolación, brillo solar y duración del día.

El método de Penman-Monteith (FAO, 2006) y considerado por Sousa y cols. (2016) y el Método de Covarianza de Torbellinos (López y cols., 2015), no pudieron ser incluidos debido a la insuficiencia de la información climática necesaria para su aplicación.

Posterior a la aplicación de los nueve métodos se realizó un análisis de correlación de cada uno de ellos con respecto a los valores promedio mensuales obtenidos por todos los métodos para definir cuál de ellos ofrecía mejor ajuste.

Se pudo apreciar que en la Estación de Portoviejo los valores de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia fueron ligeramente superiores a los obtenidos en la Estación de Chone. El análisis de correlación realizado a los nueve métodos para el cálculo de la Eto reflejó que el método de Hargreaves-Samani tuvo el mejor ajuste con un valor de R²



superior a 0.79 para ambas estaciones.

Este resultado coincide con el obtenido por Torres y Vásquez (2013), en su estudio de “Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile” donde concluye que “el método Hargreaves Samani obtuvo un mejor ajuste, permitiendo estimaciones más cercanas de la evapotranspiración de referencia”. También coincide con los resultados de Chávez y cols. (2013), quienes recomiendan este método entre las opciones más precisas “para estimar la evapotranspiración de referencia en periodos diarios”.

En la figura 2.4 y figura 2.5 se muestra el comportamiento de la Eto para las Estaciones de Portoviejo y Chone obtenido por los nueve métodos de cálculo.

Figura 2.4

Comportamiento mensual de la ETo obtenida por 9 métodos para el año del 25% de probabilidad de sobrepaso en la Estación de Chone

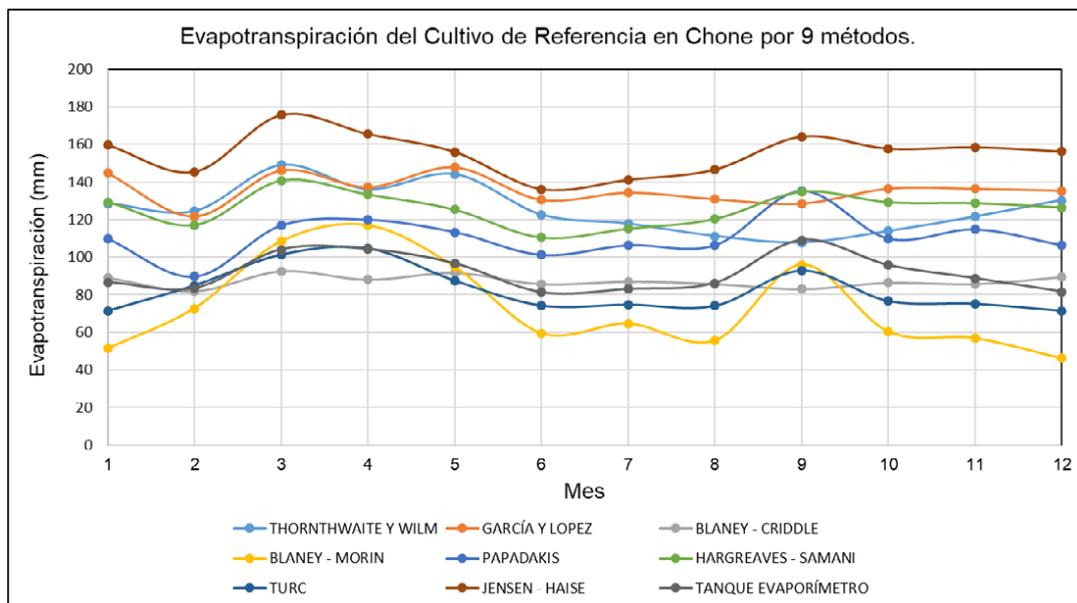
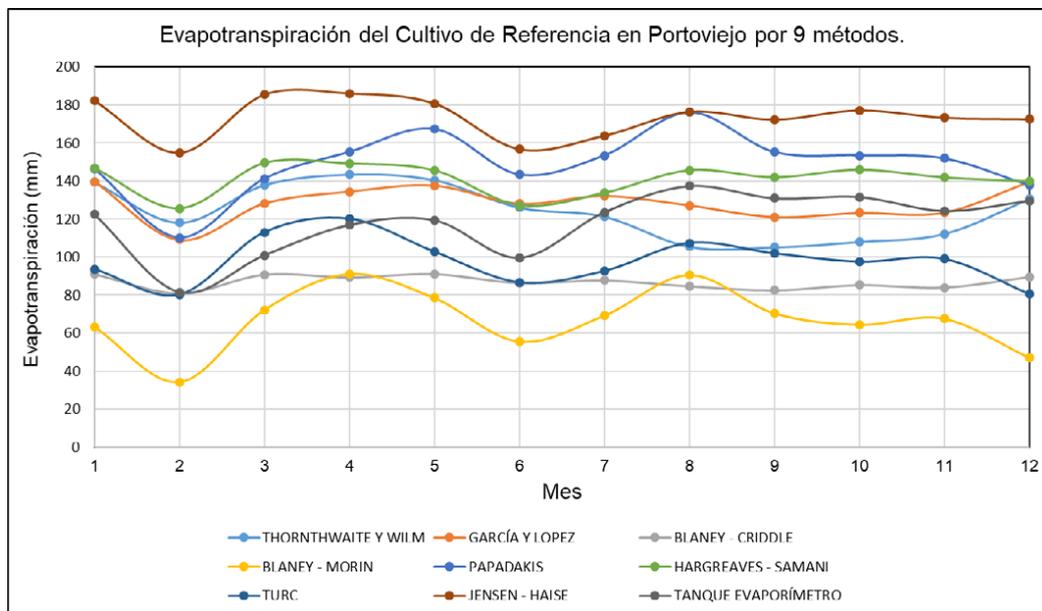


Figura 2.5

Comportamiento mensual de la Eto obtenida por 9 métodos para el año del 25 % de probabilidad de sobrepaso en la Estación de Portoviejo



Al comparar ambas figuras se puede observar que existe una mayor concentración de los resultados obtenidos por los nueve métodos en las condiciones de Chone con respecto a Portoviejo.

En la tabla 2.11 se muestran los valores promedio de ETo mensual obtenidos para las dos estaciones meteorológicas (Portoviejo y Chone) en el año del 25% de probabilidad de sobrepaso. Estos valores, junto a los de la Tabla de Precipitaciones en el acápite 2.1, son los que sirven de base para realizar las planificaciones del Régimen de Riego de Proyecto de los Cultivos en Manabí.

Tabla 2.11

Valores de ETo mensual y anual obtenidos para las dos estaciones meteorológicas (Portoviejo y Chone) en el año del 25% de probabilidad de sobrepaso

ETo (mm) \ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media Anual
PORTOVIEJO	125.0	99.4	124.3	131.8	129.3	112.2	119.7	127.9	120.2	120.7	119.7	118.5	1448.8
CHONE	107.9	102.4	126.1	122.9	117.5	100.2	102.7	101.9	116.8	107.3	107.4	104.8	1317.7
Promedio mensual	116.5	100.9	125.2	127.3	123.4	106.2	111.2	114.9	118.5	114.0	113.5	111.7	1383.3

Fuente: Pérez y cols. (2018)

Una vez conocidos los valores de la ETo es posible calcular la Evapotranspiración del Cultivo (ETc) conociendo los valores del coeficiente del cultivo (Kc). Este coeficiente será



explicado con mayor detalle en el capítulo relacionado con los cultivos.

2.3. Zonas Climáticas y Déficit Hídrico en Manabí

2.3.1. Zonas Climáticas en Manabí

De acuerdo con la clasificación de Holdridge (MAE, 2016) (Ministerio de Ambiente de Ecuador), el Ecuador presenta 25 zonas de vida de las cuales 11 entran en las categorías de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que corresponden al 27,53% del territorio nacional.

En la figura 2.6 se observa la clasificación de estas zonas climáticas existentes en Manabí (MAE, 2016), donde se confirma la existencia de un clima Tropical Megatérmico con diferentes variantes.

Figura 2.6

Zonas Climáticas en Manabí



Fuente: Ministerio de Ambiente del Ecuador (2016)

2.3.2. Diferencias entre sequía, aridez, y escasez

Según el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de Ecuador MITECO (2022),

La sequía, entendida como anomalía temporal de precipitación o caudal natural, puede producir, o no, una situación de insuficiencia en los suministros de agua, en función

del nivel de demanda de agua existente en el área y de las características, en general, de los sistemas de explotación del recurso.

La escasez representa una situación permanente de déficit en relación con la demanda de agua en un sistema de recursos de ámbito regional, caracterizado, bien por un clima árido o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas.

A partir de conocer que “la sequía es una anomalía natural transitoria, suficientemente prolongada, debe diferenciarse de la aridez, que es una situación estructural natural de una región y, por tanto, permanente. Aún en estas circunstancias no debería haber déficit si los sistemas de explotación estuvieran adecuadamente diseñados y explotados y las demandas se mantuvieran en límites razonables, acordes con las características climáticas de la región. Ello precisa actuaciones planificadas a medio y largo plazo”.

El déficit hídrico, se puede traducir como la falta o escasez del agua, y está muy relacionado con la sequía.

Es necesario saber diferenciar entre las situaciones a las cuales este déficit podría generar; situaciones naturales y sin riesgos (Escasez hídrica), otras que pueden generar un problema (Déficit hídrico) y, por último, aquel que puede suponer un grave problema (Sequía) (Twenergy, 2020):

- Déficit hídrico: es aquella situación en la que el agua disponible no es suficiente para satisfacer la demanda.
- Escasez hídrica: es un evento natural en el que un río o una zona posee menor cantidad de agua que la esperada por promedios históricos en un momento dado. Es decir, son oscilaciones naturales de la cantidad de agua disponible que varía principalmente por retraso en deshielos u otras causas naturales.
- Sequía: es aquella situación en la que existe un déficit hídrico suficiente que provoca daño en la vegetación y limita la producción de los suelos de la zona.
-

2.3.3. Déficit Hídrico Meteorológico

El Déficit Hídrico es una expresión de la disminución de la precipitación respecto a los valores medios durante un periodo determinado. El MITECO (2022), define que “Existe sequía meteorológica cuando se produce una escasez continuada de las precipitaciones. Es la sequía que da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión”. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero.

El cambio climático está alterando los patrones del clima y el agua en todo el mundo,



provocando escasez y sequías en algunas áreas e inundaciones en otras.

2.3.4. Déficit Hídrico Hidrológico

Se define como la deficiencia en el caudal o volumen de agua superficial o subterránea en ríos, embalses, lagos, etc. Este tipo de sequía es precedido por la sequía meteorológica. El MITECO, (2022) se refiere a que:

Puede definirse como aquella relacionada con periodos de caudales circulantes por los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal. Una definición más precisa sería la disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al cien por cien.

2.3.5. Déficit Hídrico Agrícola

Este se genera cuando no existe suficiente humedad en el suelo que pueda permitir el correcto desarrollo de los cultivos en cualquier fase de su crecimiento. Como la cantidad de agua necesaria es diferente para cada cultivo, la sequía producida será distinta para cada tipo de cultivo y región.

Otro dato importante ofrecen Velasco y cols. (2005), al considerar que el déficit agrícola “Se caracteriza por poseer humedad insuficiente en forma natural en el suelo, que se manifiesta por desarrollo vegetativo menor o nulo, y por ende, en bajas en los rendimientos”.

El déficit en el cual se basará este trabajo investigativo va a ser el agrícola, debido que el enfoque es hacia los cultivos. De acuerdo con Duarte y cols. (2012), “para mitigar los efectos de la sequía, consiste en el ahorro y uso eficiente del agua de riego, además de utilizar la fitotecnia adecuada, para proporcionar una mayor efectividad de la lluvia y la conservación de la humedad del suelo”.

2.3.6. Déficit Hídrico Socioeconómico

Es aquella que ocurre cuando la demanda por parte de la población no es cubierta por el abastecimiento normal como resultado de periodos de escasez de agua. Un concepto por parte de MITECO (2022), agrega:

El déficit socioeconómico entendido como afección de la escasez de agua a las personas y a la actividad económica como consecuencia de la sequía. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables.



Como ha expresado WWF (2022), el agua cubre el 70% del Planeta, y es fácil pensar que siempre será abundante. Sin embargo, solo el 3% del agua del mundo es agua dulce, y dos tercios de ella están escondidos en glaciares congelados o no están disponibles para el uso. En consecuencia, se tiene como resultado que alrededor de 1.100 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso al agua (WWF, 2022). La mayor parte de los sistemas de agua que mantienen el desarrollo de los ecosistemas y sostienen a la población humana en crecimiento se han observado con déficit sobre todo en países donde abunda la pobreza.

Para el 2025, se prevé que dos tercios de la población mundial podrían enfrentar escasez de agua. Y los ecosistemas de todo el mundo sufrirán aún más.

2.3.7. Criterios para el cálculo del déficit hídrico

Para definir el Déficit Hídrico en Manabí se analizaron diferentes criterios de cálculo para valorar la posibilidad de su cuantificación en función de la información disponible. Estos criterios se relacionan a continuación:

1. Según Claro (1991), donde se calcula el balance hídrico aplicado al riego, se consideran como datos de entrada varios parámetros. A continuación, se muestra la expresión propuesta para el cálculo del Déficit:

$$\text{Déficit} = \text{ETP} - \text{ET}$$

donde:

ETP= Evapotranspiración potencial (la cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal continua bien dotada de agua)

ET= Evapotranspiración.

2. El método de Thornthwaite (1955), es muy utilizado para el cálculo de balance hídrico debido a su simplicidad. El autor ideó dos modelos, el primero fue propuesto en el año 1948 y posteriormente fue mejorado en 1955. Este método parte del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración potencial mensual (ETP), a raíz de eso se calcula el balance del agua en el suelo de un punto específico.

A continuación, se muestra la ecuación para hallar el Déficit:

$$\text{Déficit} = \text{ETP} - (\text{P} + \text{Reserva mes anterior} + \text{Reserva mes presente})$$

donde:

ETP= Evapotranspiración potencial o de referencia.

P= Precipitación.

3. Según la OMM y AMA (2016), de la misma forma que no hay una definición única de sequía, no hay ningún índice o indicador que pueda atribuirse y ser aplicado a



todos los tipos de sequía, regímenes climáticos y sectores afectados por las sequías. A pesar de considerar válidos una relación de 50 índices e indicadores, concluye que “El indicador o índice más sencillo de utilizar suele ser aquel que ya se produce de manera operativa y es de libre utilización, pero esto no significa necesariamente que sea el mejor o el más adecuado”. En última instancia, esta decisión tiene que ser tomada por los usuarios a las escalas regional, nacional o local. El enfoque preferido y recomendado consiste en que los usuarios adopten un enfoque con varios indicadores o índices o con un indicador o índice mixto o híbrido como parte de un sistema de alerta temprana de la sequía, en el contexto de un plan integral de mitigación de la sequía. En teoría, para ello son necesarios análisis exhaustivos y un método de investigación a fin de determinar qué indicadores son más adecuados en ciertos regímenes climáticos, regiones, cuencas y localizaciones. También es necesario llevar a cabo actividades de investigación al objeto de establecer para qué estaciones es más pertinente cada indicador, de manera que representen los efectos que se producen sobre el terreno. Una vez identificados, los indicadores o índices pueden ser recomendados o integrarse en un sistema de alerta temprana de la sequía como posibles elementos desencadenantes, para su vinculación con medidas de respuesta o mitigación de emergencias en el marco de un plan contra la sequía.

Después de un análisis comparativo de los criterios anteriormente mencionados y basados en la información disponible, se llegó a la conclusión de emplear la siguiente expresión para el cálculo del Déficit Hídrico que servirá para mostrar cuantitativa y cualitativamente la distribución espacial y temporal del Déficit Hídrico en Manabí.

No obstante, queda como variable pendiente a incluir en este análisis la variación de humedad en el suelo. Déficit Hídrico solamente sobre la base de los dos primeros parámetros.

$$\text{Déficit Hídrico (mm)} = E_{To} - P$$

donde:

E_{To} = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

P = Precipitación (mm).

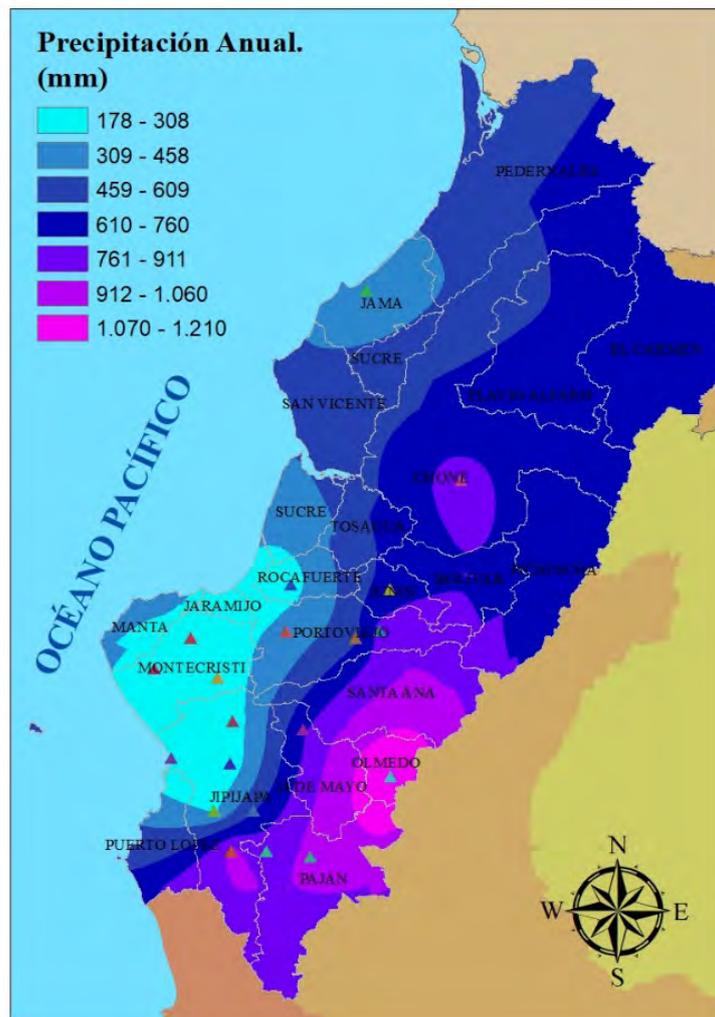
Una vez conocidos los valores de Precipitación anual (P_{25} %) en Manabí obtenidos a partir del análisis estadístico descrito en el acápite 2.1, Bravo y Santana (2020) elaboraron el del mapa que se muestra en la figura 2.7

Como se puede apreciar, existe una zona al norte de Manabí donde predominan los valores más altos de precipitaciones (en color azul intenso) destacándose los cantones de El Carmen y Flavio Alfaro. Sin embargo, el contraste más interesante ocurre en la parte

sur de la provincia donde se evidencia una disminución de las precipitaciones en dirección Este-Oeste en una distancia cercana a los 70 km que abarca los valores extremos de precipitación. Los cantones Olmedo y 24 de Mayo se ubican al Este con valores de precipitaciones que categorizados entre 1070 y 1210 mm anuales mientras que parte de los cantones Manta, Montecristi, Jaramijó y Rocafuerte se ubican al Oeste en la categoría de precipitaciones más bajas (178 a 308 mm anuales).

Figura 2.7

Distribución espacial de las Precipitaciones Anuales (P25%) en Manabí

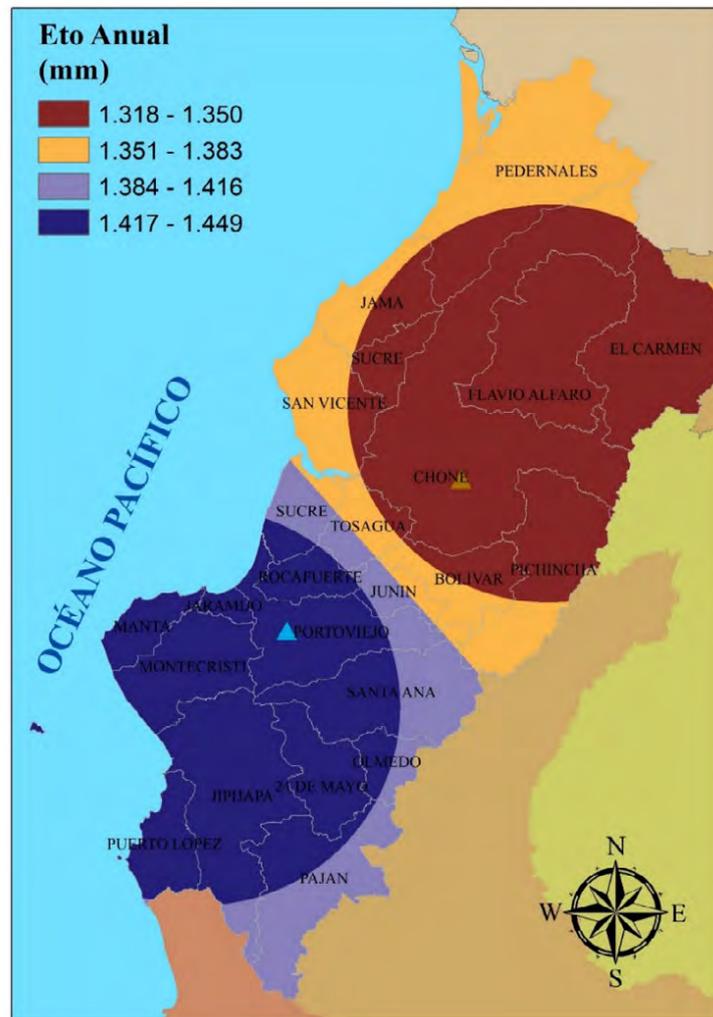


Una distribución más estable de los valores de $ET_{0,75\%}$ anuales en Manabí obtenidos a partir del análisis estadístico descrito en el acápite 3.2, se puede apreciar en la figura 2.8 con valores que oscilan entre 1318 mm al norte y 1449 mm anuales al sur de la provincia.



Figura 2.8

Distribución espacial de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ($ET_{o_{75\%}}$) Anual en Manabí



A partir de conocer estos valores de $P_{25\%}$ y $ET_{o_{75\%}}$ mensuales se confeccionaron los mapas de distribución del Déficit Hídrico mensual en Manabí (figura 2.9).

Se puede comprobar que la situación más crítica se presenta durante los meses de mayo a diciembre con valores de Déficit que superan los 100 mm mensuales, con lo cual se hace evidente la necesidad de considerar el riego como una solución necesaria para garantizar buenos rendimientos agrícolas en ese período.

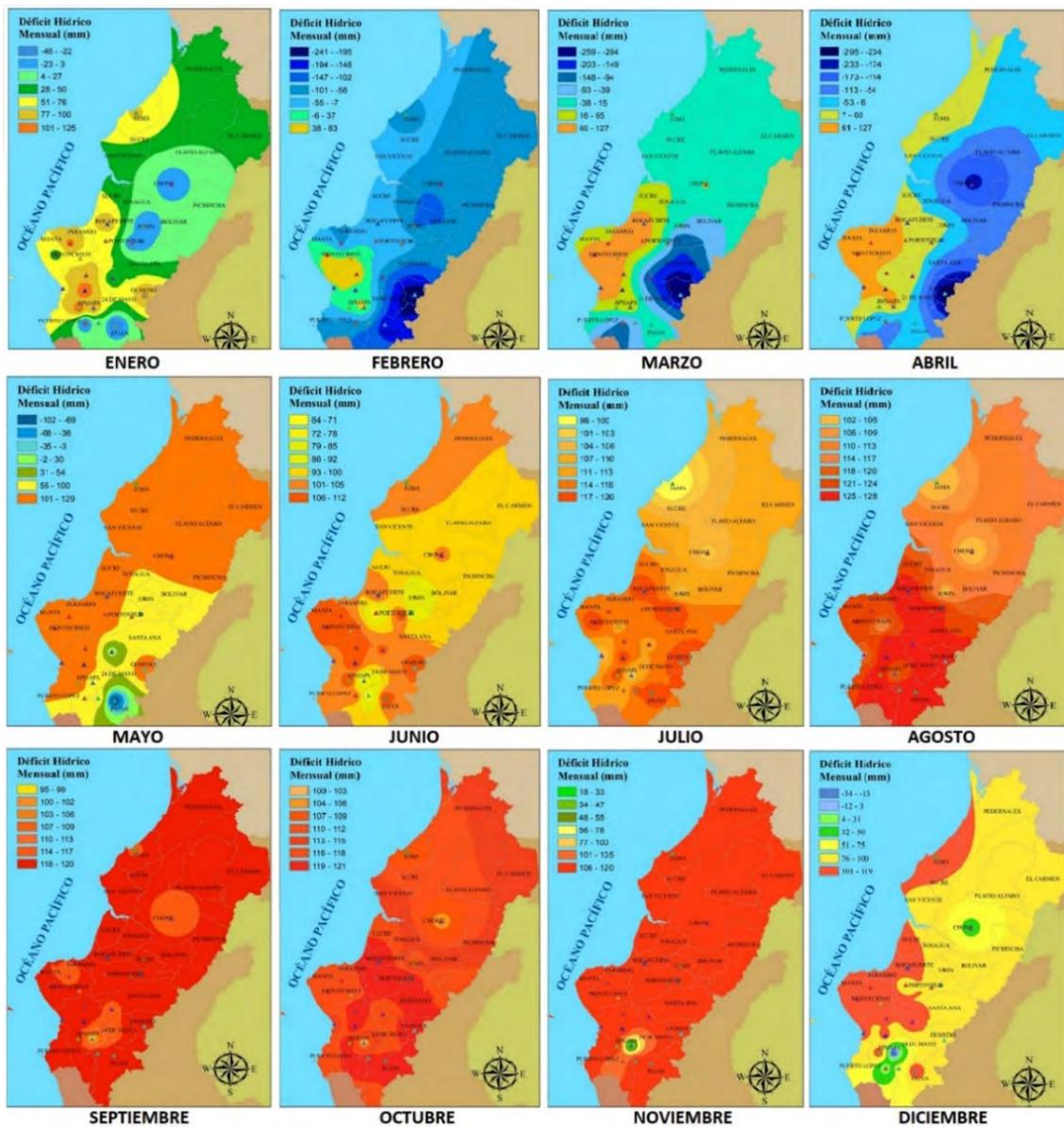
La situación más favorable abarca solo 4 meses (enero a abril) donde se confirman regiones al norte y al este de la provincia donde no hay Déficit Hídrico.

¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Figura 2.9

Distribución espacial del Déficit Hídrico en Manabí por meses

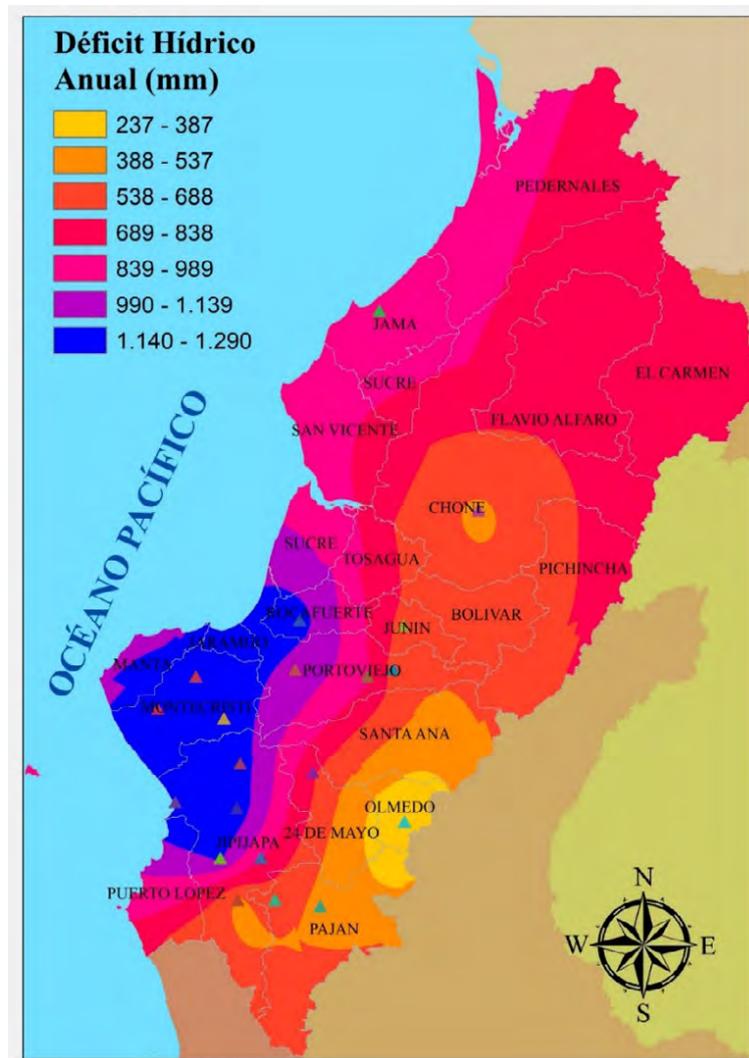


La figura 2.10 muestra la distribución del Déficit Hídrico Anual en Manabí. En la misma se confirma que el Déficit abarca a toda la provincia por lo que la necesidad de riego es evidente en todos los sectores. La situación más crítica se vuelve a confirmar al suroeste, en parte de los cantones Manta, Montecristi, Jaramijó y Rocafuerte.



Figura 2.10

Distribución espacial del Déficit Hídrico Anual en Manabí



Conclusiones del estudio Climatológico en Manabí

- De las 43 estaciones del INAMHI existentes en la provincia Manabí, solo 20 cumplieron con el sustento estadístico para realizar estudios del comportamiento de las precipitaciones y solo dos de ellas contaron con información suficiente para realizar los estudios de la Evaporación.
- El análisis del comportamiento de las precipitaciones en Manabí realizado para 20 estaciones meteorológicas con una probabilidad de sobrepaso del 25% evidencia que durante los meses de enero a abril precipita el 83% de la lluvia total anual.
- Durante los meses de mayo a diciembre precipita solamente 17% de la lluvia total anual por lo que se requiere de una programación precisa del riego para complementar la demanda hídrica de los cultivos durante estos 8 meses.



- De los 10 procedimientos para el cálculo de la precipitación efectiva que se revisaron se escogieron cuatro de ellos por ser los posibles a aplicar en función de los datos disponibles, los cuales fueron: método de Blaney – Criddle (modificado), método Ogrosky y Mockus, método Savo y método de Servicio de Conservación de Suelo.
- Se considera que los métodos de cálculo más precisos para determinar la lluvia aprovechable son el método SAVO y el método del Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos, debido a que utilizan más variables (la pendiente, la precipitación mensual observada del lugar, la profundidad radicular y las características del suelo) con estos métodos se obtuvieron valores de precipitación aprovechable para Manabí que oscilaron entre 625.3 y 631.2 mm anuales respectivamente.
- De los nueve métodos analizados para el cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia, el método de Hargreaves-Samani fue el que mostró los valores más precisos.
- El análisis de la distribución mensual de la Evapotranspiración del Cultivo de Referencia en Manabí muestra que los meses de mayor valor de este parámetro son abril y mayo mientras que los meses de menor valor fueron junio y febrero. El valor promedio de Evapotranspiración Anual del Cultivo de Referencia para la parte norte de Manabí alcanzó 1317.7 mm mientras que para la parte sur fue de 1448.8 mm anuales.
- El análisis del Déficit Hídrico permitió definir que en toda la provincia se evidencia Déficit Hídrico durante los meses de mayo a diciembre, el cual se acentúa en la zona ubicada al suroeste de Manabí en parte de los cantones Manta, Montecristi, Jaramijó y Rocafuerte.
- Los resultados obtenidos en este estudio constituyen la base climatológica más precisa disponible hasta el momento para realizar las planificaciones del riego y definir los consumos de agua de los cultivos en la provincia Manabí.



Capítulo 3

Estudio de las Propiedades de los Suelos para la planificación del Régimen de Riego

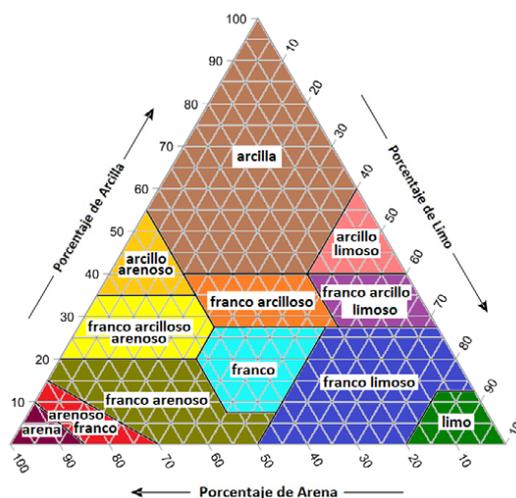
3.1. Propiedades Físicas de los suelos

Antes de entrar en detalle sobre los resultados del estudio de suelos realizado en Manabí, es importante recordar algunos aspectos conceptuales en torno con el agua en el suelo y su relación con algunas propiedades físicas de los suelos que se mencionarán a continuación:

Textura: se define como la proporción de partículas que tiene un suelo en relación con el tamaño de estas (figura 3.1). Esta propiedad está relacionada con la granulometría a partir de conocer el tamaño de las partículas de arena (0.02 mm a 2 mm), limo (0.002 mm a 0.02 mm) y arcilla (< 0.002 mm) y los porcentajes de cada una en una muestra de suelo.

Figura 3.1

Triángulo Textural con 12 tipos de textura de suelo a partir de la combinación de partículas de Arena, Limo y Arcilla



Fuente: USDA (2017)

Esta propiedad se puede determinar por diferentes métodos como son: tamizado, sedimentación, uso del microscopio electrónico y turbidimetría. No obstante, todos estos métodos se basan en la individualización de las partículas para poder medir su diámetro.

Existen otras formas menos precisas, pero más asequibles para determinar la textura en condiciones de campo. A continuación, se explicarán dos de ellas:



Prueba de la Botella

Coloque una capa de 5 cm de suelo dentro de una botella y llénela de agua.

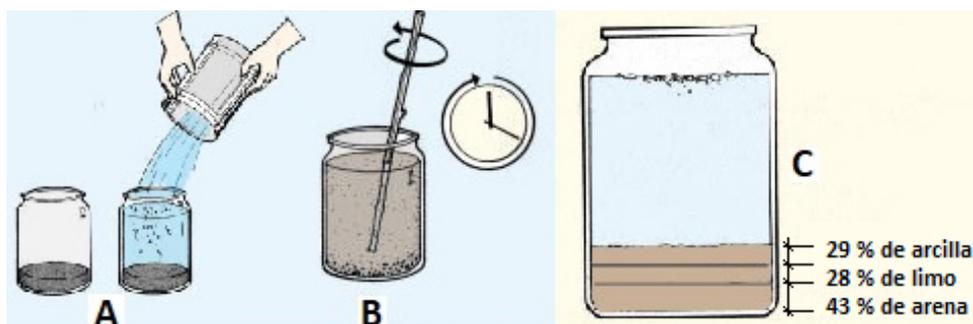
Agítela bien y déjela reposar durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y observará que las partículas mayores se han sedimentado.

- En el fondo hay una capa de arena.
- En el centro hay una capa de limo.
- En la parte superior hay una capa de arcilla.
- Si el agua no está completamente transparente ello se debe a que parte de la arcilla más fina está todavía mezclada con el agua.
- En la superficie del agua pueden flotar fragmentos de materia orgánica.

Mida la profundidad de la arena, el limo y la arcilla y calcule la proporción aproximada de cada uno (figura 3.2).

Figura 3.2

Secuencia de pasos para determinar la textura de un suelo por el Método de la Botella



Fuente: FAO (2022a)

Prueba de sacudimiento la Bola de Suelo

Tome una muestra de suelo y humedézcala hasta lograr la máxima saturación.

Forme una bola de 3 a 5 cm de diámetro.

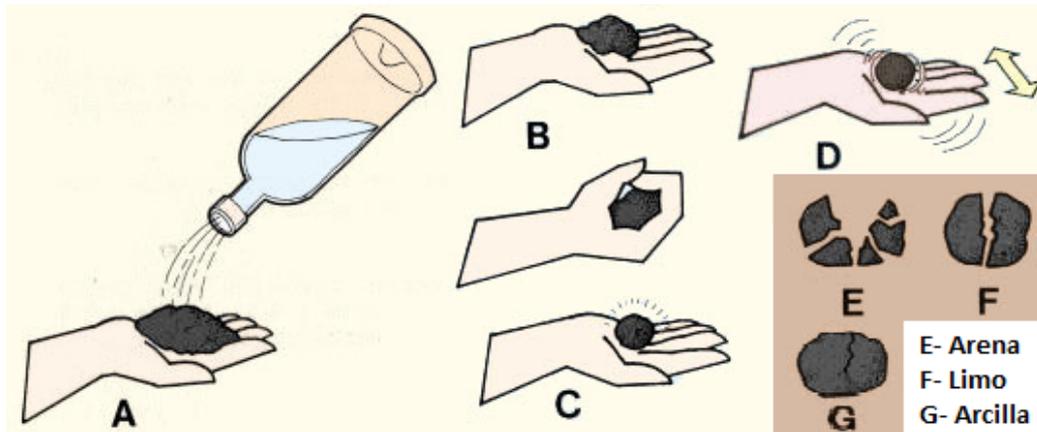
Coloque la bola en la palma de la mano y verifique su brillo.

Sacuda la bola de un lado a otro y observe el brillo de la superficie.

- Si la bola se opaca rápidamente y se puede desmenuzar sin dificultad significa que es un suelo arenoso o arenoso franco.
- Si la superficie de la bola se opaca lentamente y ofrece resistencia a la ruptura es porque es un suelo limoso o franco arcilloso.
- Si la superficie de la bola no cambia y ofrece resistencia a la ruptura es porque es un suelo arcilloso o arcilloso limoso (figura 3.3).

Figura 3.3

Secuencia de pasos para determinar la textura de un suelo por el Método del sacudimiento de la Bola de suelo

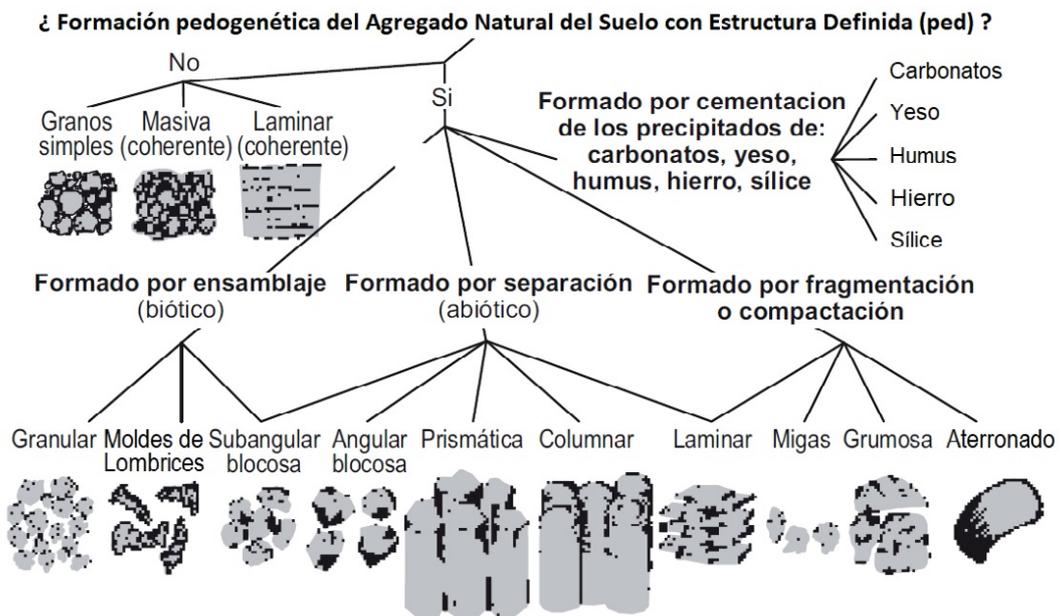


Fuente: FAO (2022a)

Estructura: se define como la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. Según la FAO (2009), los tipos básicos naturales de estructura se definen en la figura 3.4 atendiendo al proceso de formación de suelo (formación pedogenética).

Figura 3.4

Tipos básicos naturales de estructura atendiendo al proceso de formación de suelo.



Para evaluar la estructura de un suelo se emplean métodos basados en la observación de las diferentes capas de suelo (mediante una calicata) y la extracción de muestras inalteradas de las mismas para su análisis cualitativo.

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas.

Desde el punto de vista agrícola y a los efectos del riego, la estructura más conveniente es la granular ya que permite el movimiento del agua en el suelo en todas direcciones y los agregados ofrecen menos resistencia a las labores de preparación de suelos.

Densidad Real: se define como la relación que existe entre la masa de una muestra de suelo seco (M_{ss}) y el volumen de la parte sólida de la muestra sin considerar el volumen de poros (V_s). Se expresa en g/cm^3 .

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$D_r = \frac{M_{ss}}{V_s}$$

donde:

D_r : Densidad Real del suelo (g/cm^3)

M_{ss} : Masa de Suelo Seco (g)

V_s : Volumen de la parte sólida del suelo excluyendo el volumen de poros (cm^3)

Densidad Aparente: se define como la relación que existe entre la masa de una muestra de suelo seco (M_{ss}) y el volumen total de la muestra (V_t). Se expresa en g/cm^3 .

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_t} = \frac{M_{ss}}{V_s + V_p}$$

donde:

D_a : Densidad Aparente del suelo (g/cm^3)

M_{ss} : Masa de Suelo Seco (g)

V_t : Volumen total de la muestra de suelo (cm^3)

V_p : Volumen de poros (cm^3)

Valores de densidad aparente bajos (inferiores a $1,3 \text{ kg/dm}^3$) indican generalmente una condición porosa del suelo. La densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad aparente altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del



agua (FAO, 2009).

Existen muchos métodos para determinar la densidad aparente del suelo. Uno de ellos consiste en obtener un volumen de suelo conocido, secarlo para remover el agua y pesar la masa seca. Otro utiliza un instrumento especial (cilindro metálico) para obtener una muestra de suelo de volumen conocido sin disturbar la estructura natural del suelo, y después determinar la masa seca.

Porosidad: se define como la relación entre el volumen de poros y el volumen total de una muestra de suelo. Los poros se describen de acuerdo con: tipo, tamaño y abundancia. Adicionalmente, también se puede registrar la continuidad, orientación y otro tipo de elemento.

Se determina mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{V_p}{V_t} \times 100$$

donde:

P: Porosidad del suelo (%)

También es posible calcular la porosidad si se conocen los valores de D_r y D_a mediante la siguiente expresión:

$$P = \left(1 - \frac{D_a}{D_r}\right) \times 100$$

En sentido general, el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso.

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

Según el porcentaje de poros en el suelo, la porosidad se puede clasificar acorde a las denominaciones de la tabla 3.1 (FAO, 2009).

Tabla 3.1

Clasificación de la Porosidad del Suelo atendiendo al porcentaje del volumen de poros con respecto al volumen total de la muestra

Categoría	Porosidad (%)
Muy Baja	< 2
Baja	2 - 6



Categoría	Porosidad (%)
Media	5 - 15
Alta	15 - 40
Muy alta	> 40

Esta propiedad guarda cierta relación con la textura del suelo, sin embargo, es muy común que se asocien altos valores de porosidad a suelos con textura arenosa, lo cual no es correcto. Si bien es cierto que el tamaño de los poros en suelos con textura arenosa es mayor, el volumen total de poros es muy superior en suelos de textura fina (arcillas).

En la tabla 3.2 se muestran valores de referencia que relacionan la textura con la porosidad del suelo definidos por Israelsen y Hansen (1985).

Tabla 3.2

Valores de referencia de la Porosidad del Suelo en relación con su Textura

Textura	Porosidad (%)
Arenosa	38 (32-42)
Franco arenosa	43 (40-47)
Franco	47 (43-47)
Franco arcillosa	49 (47-51)
Arcillo arenosa	51 (49-53)
Arcillosa	53 (51-55)

3.2. Propiedades Hidrofísicas de los suelos

Velocidad de Infiltración: se define como la velocidad o tasa de infiltración de agua en el suelo y es de vital importancia durante la aplicación del riego. Normalmente se mide en mm/hora.

La velocidad de infiltración de agua en el suelo depende de los siguientes factores:

- Tiempo de infiltración
- Contenido inicial de agua en el suelo

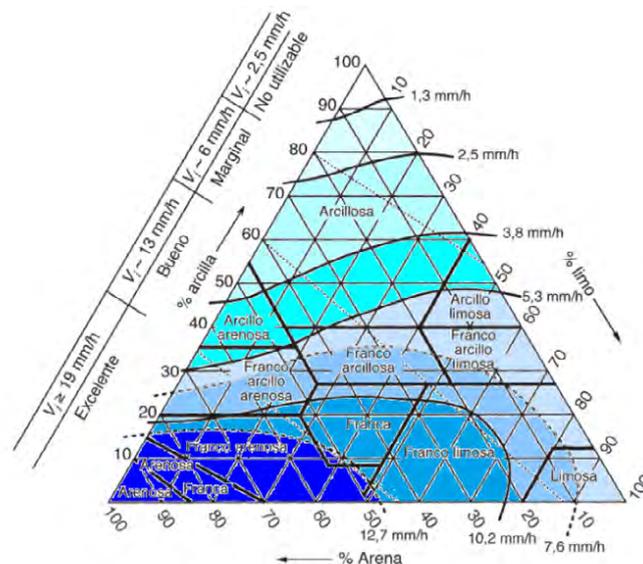


- Conductividad hidráulica saturada
- Estado de la superficie del suelo
- Aire atrapado durante el proceso de aplicación de agua

Este parámetro guarda una estrecha relación con la textura del suelo. En la figura 3.5 Tarjuelo (2005), muestra que los suelos con textura más gruesa (arenas) tienden a tener mayor velocidad de infiltración que los suelos de textura fina (arcillas). Sin embargo, no debe considerarse que a mayor porosidad será mayor la velocidad de infiltración. En este caso son los macro poros existentes en las arenas (con menor porosidad) los que permiten mayores velocidades de infiltración en contraste con la mayor cantidad de microporos presentes en las arcillas.

Figura 3.5

Comportamiento de la Velocidad de Infiltración para diferentes texturas de suelo



Estimación de la velocidad de infiltración en función de la textura del suelo.

Textura de suelo	Velocidad de infiltración (mm/h)	
	Suelo desnudo	Suelo cubierto
Arenoso	25	50
Franco-arenoso	18	36
Franco	12	25
Franco-arcilloso	6	12
Arcilloso	2	5

Fuente: Tarjuelo (2005)

La expresión que caracteriza la infiltración que se produce en un suelo fue propuesta por Kostiakov (1932), y se muestra a continuación:

$$Y = K \times t^a$$



donde:

Y: Lámina infiltrada (mm)

K y n: coeficientes adimensionales que dependen del tipo de suelo

t: tiempo (min)

De esta expresión se deriva la siguiente para calcular la velocidad de infiltración (I) en un suelo:

$$I = K \times n \times t^{n-1}$$

La velocidad de infiltración se puede determinar por diferentes métodos en función del equipamiento disponible y la técnica de riego a emplear:

- Método de anillos de infiltración (infiltrómetro estándar, recomendado para riego por inundación). (figura 3.6).

Figura 3.6

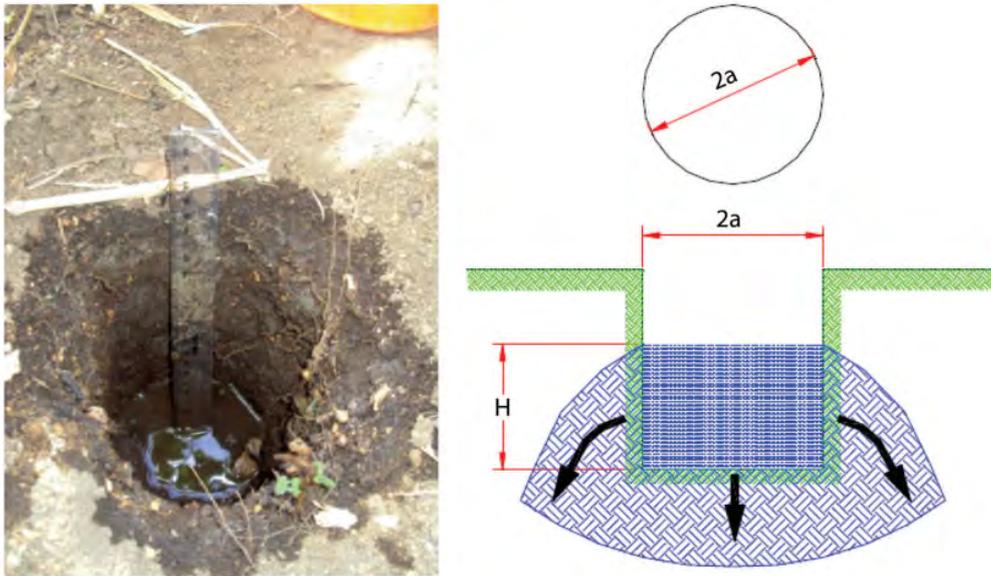
Anillos de Infiltración durante una prueba efectuada en el Valle de San Ramón, Manabí



- Método de surco de infiltración o de entradas y salidas (recomendado para riego por surcos).
- Método de del permeámetro de Guelph.
- Método de Porchet: consiste en un agujero cilíndrico, excavado en tierra, de radio y profundidad constante, en el cual se mide el descenso del nivel del agua dentro del pozo a través del tiempo (Alvarado y Barahona, 2017) (figura 3.7).

Figura 3.7

Esquema del método de Porchet, utilizado en el campo, para la determinación de la conductividad hidráulica

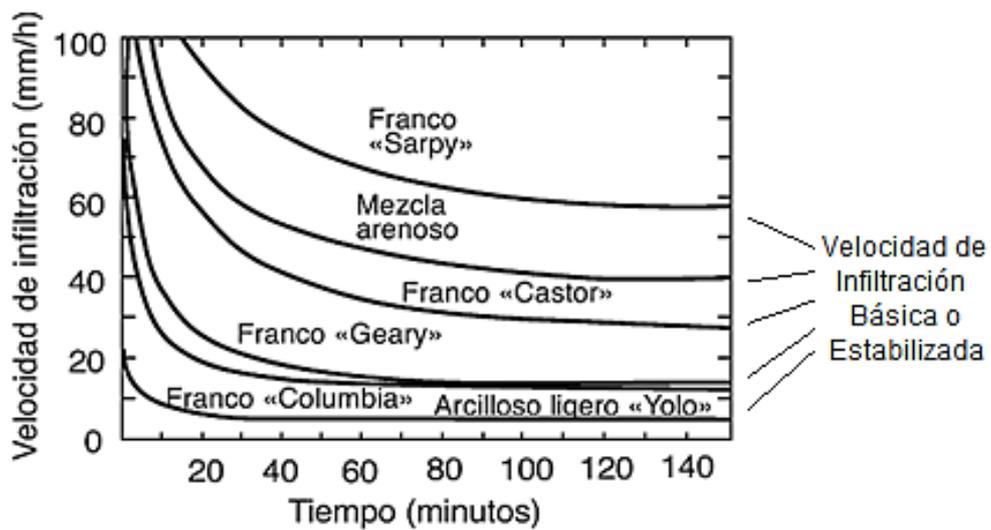


Fuente: Alvarado y Barahona (2017)

En la figura 3.8 se observa el comportamiento de la velocidad de infiltración a lo largo del tiempo para diferentes texturas de suelo.

Figura 3.8

Comportamiento de la Velocidad de Infiltración Estabilizada para diferentes texturas de suelo según Jensen



Fuente: Tarjuelo (2005)

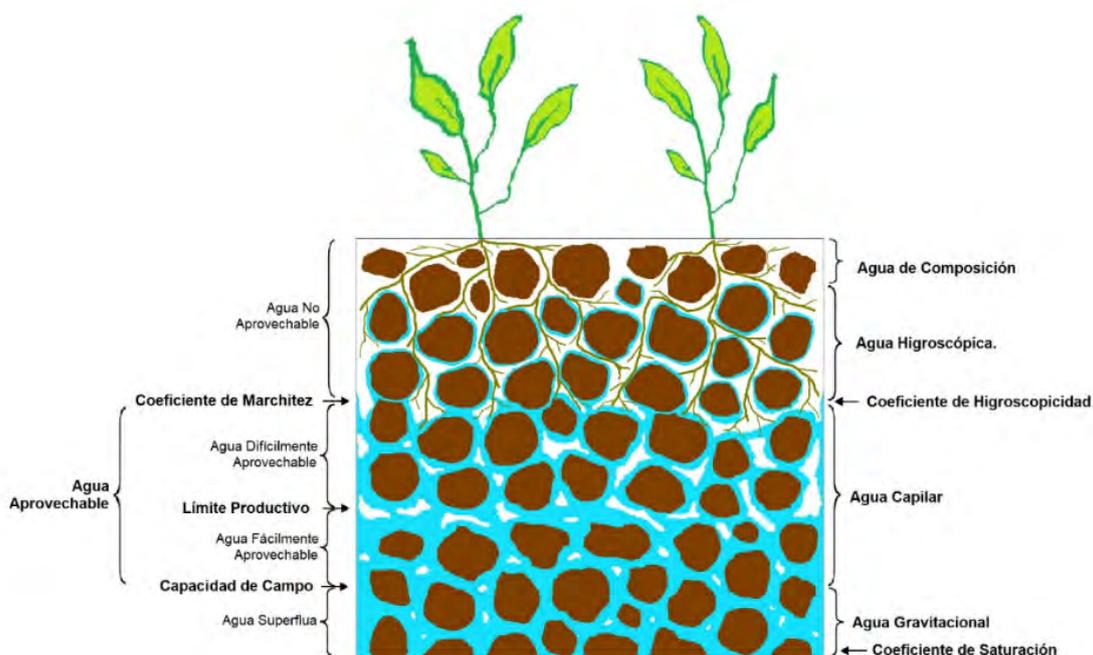


Como se puede apreciar en la figura 3.8, se produce una tendencia a la estabilidad de la velocidad de infiltración posterior a los 60 minutos. Esa velocidad se denomina Velocidad de Infiltración Básica o Estabilizada y constituye un elemento de importancia para definir el tiempo de aplicación en el riego por aspersión y el riego superficial.

Capacidad de Retención de Agua: se define como la cantidad de agua que puede retener un suelo. Esta capacidad de retención depende de las fuerzas que predominan en su interacción entre el agua y las partículas sólidas (clasificación física) y su disponibilidad para las plantas (clasificación biológica) (figura 3.9). Cuando un suelo alcanza la máxima cantidad de agua posible a retener se define que se encuentra a Capacidad de Campo. Este y otros conceptos relacionados con el contenido de humedad en el suelo serán explicados a continuación.

Figura 3.9

Imagen representativa de los diferentes contenidos de agua en el suelo



A la izquierda desde el punto de vista Biológico y a la derecha desde el punto de vista Físico.

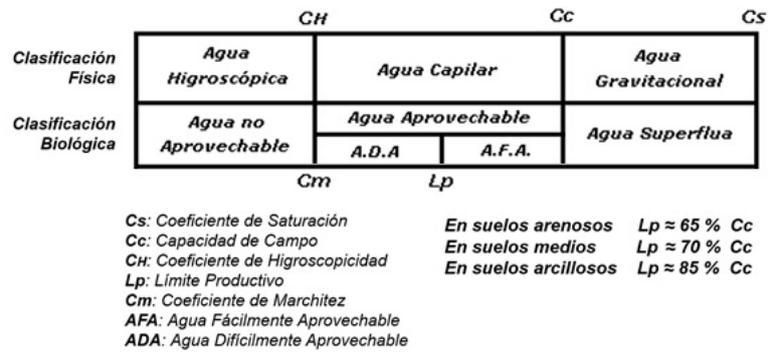
Clasificación Física y Biológica del Agua en el Suelo

En función de las fuerzas actuantes entre el agua y las partículas sólidas del suelo se ha definido una clasificación Física del agua que guarda una estrecha relación con la disponibilidad del agua para las plantas (clasificación Biológica) (figura 3.10).



Figura 3.10

Clasificación de los contenidos de Agua en el Suelo desde el punto de vista Físico y Biológico



Agua Gravitacional: es aquella que se desplaza entre los poros en dirección predominantemente vertical bajo la fuerza de la Gravedad. Su presencia en el suelo es de 24 a 48 horas debido a su rápido desplazamiento ya que la interacción del agua con las partículas sólidas es muy débil. Está delimitada entre el Coeficiente de Saturación (este representa la ocupación del 100% del volumen de poros) y la Capacidad de Campo (Límite máximo de retención de humedad del suelo después de haber evacuado el Agua Gravitacional). Desde el punto de vista Biológico es equivalente al **Agua Superflua** y no es aprovechable por las plantas.

Agua Capilar: es aquella que queda retenida en el suelo por un período de tiempo mayor una vez que se ha evacuado el agua gravitacional. Su retención se realiza bajo la acción de las fuerzas Capilares que se presentan entre las partículas sólidas y el agua existente entre los poros. Se delimita entre la Capacidad de Campo y el Coeficiente de Higroscopicidad. Desde el punto de vista Biológico el Agua Capilar es equivalente al **Agua Aprovechable** por las plantas y su límite inferior es el Coeficiente de Marchitez.

Dentro del Agua Capilar se ha establecido un límite intermedio que algunos autores han denominado **Límite Productivo** (*Lp*) y otros los definen como **Fracción de Agotamiento** (*p*). Estos términos dependen exclusivamente de la textura del suelo y definen la frontera entre el contenido de **Agua Fácilmente Aprovechable** (AFA) (fracción del agua que puede consumir la planta sin que se produzca estrés hídrico y, por tanto, sin afectación al rendimiento de los cultivos) y el **Agua Difícilmente Aprovechable** (ADA) que puede ser extraída por la planta, pero con mayor esfuerzo por lo que implica un estrés hídrico y con ello una reducción del rendimiento. Contenidos de agua inferiores al Coeficiente de Marchitez implicarían la muerte de las plantas y con ello la pérdida del cultivo.

Existe otro parámetro denominado **Agotamiento Máximo Permisible** (AMP) definido por la FAO (2005), que guarda una estrecha relación con el **Lp** y **p** pero que está condicionado a prácticas de manejo, factores económicos y propiedades del suelo.



Agua Higroscópica: es aquella que queda retenida en el suelo una vez que se ha consumido el agua capilar. Es un agua retenida fuertemente por acción de las fuerzas Higroscópicas ejercidas entre las partículas sólidas y la película de agua que las rodea. Su límite superior es el Coeficiente de Higroscopicidad. Desde el punto de vista Biológico es equivalente al **Agua No Aprovechable** por las plantas.

Agua de Composición: es un agua poco perceptible, forma parte de las moléculas de la parte sólida del suelo y que sólo puede ser eliminada por procesos químicos.

La Determinación del Contenido de Agua en el Suelo se puede realizar por diferentes formas:

- **Método Gravimétrico:** consiste en extraer muestras de suelo a diferentes profundidades hasta el límite de las raíces de las plantas. Esta muestra se pesa en el campo, se somete a secado en estufa de laboratorio a 105 °C durante 16 horas y se vuelve a pesar a temperatura ambiente. La diferencia de masa representa el contenido de agua en el suelo en el momento de extraer la muestra. La aplicación de este método requiere de personal técnico con equipamiento para la toma de muestras, así como de instalaciones de laboratorio.
- **Uso de Tesiómetros:** son instrumentos que se insertan en el suelo hasta la profundidad deseada y permiten medir la tensión (presión de vacío expresada en Centibares) con que el suelo retiene el agua. La tensión aumenta en la medida que la cantidad de agua en el suelo es menor. Se utilizan insertados de manera temporal en el suelo durante el período en que se desea conocer dinámica de humedad en el tiempo. El uso de estos equipos requiere de personal técnico que conozca procedimiento de instalación, medición y mantenimiento. No son equipos que estén asequibles en el mercado y se utilizan en producciones a gran escala con infraestructura de riego o en parcelas experimentales.
- **Otros equipos:** incluye a la Sonda de Neutrones y TDR (Time Domain Reflectometry). Son equipos que miden por diferentes técnicas otras propiedades asociadas al contenido de agua en el suelo. Generalmente son muy precisos después de su calibración, pero son costosos y no están al alcance de los productores. Su uso está más orientado a fines investigativos.
- **Método asociado a propiedades organolépticas:** es un método menos preciso, pero más asequible a los productores. Consiste en extraer una muestra de suelo con la mano a la profundidad deseada. La muestra es amasada y comprimida con las manos hasta intentar formar una bola. En función de la disgregación o concentración que se logre de la masa de suelo será la cantidad de agua que se estima que existe en el suelo. Es un método menos preciso, pero de manera empírica algunos agricultores logran desarrollar cierta habilidad para definir por esta vía el momento de regar.



3.3. Expresiones de Cálculo del Contenido de Humedad en el Suelo

Existe un límite mínimo de contenido de humedad en el suelo que puede ser aprovechado por las plantas y que representa la frontera entre agua no aprovechable y el agua aprovechable por las plantas. Este límite, denominado Coeficiente de Marchitez (figura 3.1) también se reconoce como Punto de Marchitez Permanente (PMP) y representa el potencial hídrico del suelo más negativo al cual las hojas de las plantas no recuperan su turgencia. Este valor del PMP depende de las condiciones climáticas y de la conductividad hidráulica del suelo. Tassinari, (citado por De Santa Olalla y De Juan, 1993) propuso una expresión para calcular el PMP en función de las proporciones de arena, limo y arcilla que contiene el suelo expresado en porcentaje de masa de suelo seco:

$$\text{PMP} = 0.01(\% \text{ Arena}) + 0.12(\% \text{ Limo}) + 0.57(\% \text{ Arcilla}) \quad (\%)$$

Existen otras expresiones para calcular el contenido de humedad en el suelo que se muestran a continuación:"

Como porcentaje de la masa de suelo seco.

$$H_{ss} = \frac{\text{Masa de Agua (g)}}{\text{Masa de Suelo Seco (g)}} 100 \quad (\%)$$

Como porcentaje del volumen total de suelo.

$$H_v = \frac{\text{Volumen de Agua (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen Total de Suelo (cm}^3\text{)}} 100 \quad (\%)$$

Como porcentaje del volumen total de poros.

$$H_P = \frac{\text{Volumen de Agua (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen Total de Poros (cm}^3\text{)}} 100 \quad (\%)$$

En metros cúbicos por hectárea.

$$H = 100 \times h \times D_a \times H_{ss} \quad (\text{m}^3/\text{ha})$$

donde: h: profundidad a la que se desea calcular la humedad (generalmente relacionada con la profundidad de las raíces de las plantas) (m)

Da: densidad aparente (g/cm³)

H_{ss}: contenido de humedad expresado (expresado en %)

Cálculo del Agua Fácilmente Aprovechable en el Suelo

Como ya se ha explicado, para lograr un desarrollo óptimo de los cultivos y con ello obtener los mayores rendimientos es preciso mantener un contenido de humedad entre la Capacidad de Campo del Suelo (CC) y el Límite Productivo (LP) lo cual constituye el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA).



Por tal motivo conocer la magnitud de este parámetro (AFA) se convierte en una prioridad para planificar riegos eficientes.

Considerando criterios prácticos se procederá a explicar el cálculo del AFA basado en la expresión para determinar el contenido de humedad en metros cúbicos por hectárea.

En esta expresión solo sería necesario sustituir el valor de H_{ss} por el valor del contenido de humedad delimitado entre CC y LP. Así quedaría:

$$AFA = 100 \times h \times Da \times (CC-LP) \quad (m^3/ha)$$

Si se adopta el criterio de que cada dosis de riego que se aplique al cultivo tendrá como objetivo elevar el contenido de humedad desde el Lp hasta la CC, se puede plantear que la magnitud de la dosis parcial de riego (mpn) sería igual al AFA.

Por tal motivo:

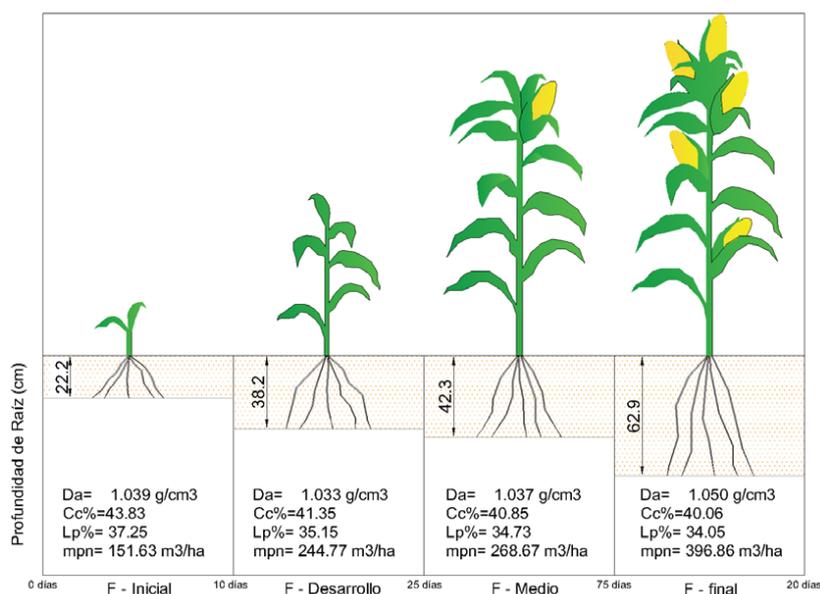
$$AFA = mpn = 100 \times h \times Da \times (CC-LP) \quad (m^3/ha)$$

$$AFA = mpn = 100 \times h \times Da \times (CC-LP) \quad (m^3/ha)$$

En la figura 3.11 se muestran los valores de mpn calculados para diferentes etapas de crecimiento de un cultivo asociadas a diferentes profundidades de raíces.

Figura 3.11

Cálculo de la Dosis de Riego (mpn) para diferentes profundidades asociadas a las etapas de desarrollo de un cultivo



En la tabla 3.3, tabla 3.4 y tabla 3.5 se muestran valores de referencia de algunas



propiedades de los suelos útiles para realizar cálculos relacionados con el contenido de agua en el suelo y su aplicación.

Tabla 3.3

Dosis máximas de aplicación (mm/h) conforme a la Velocidad de Infiltración del suelo (expresada a título indicativo, por la textura y profundidad) y la pendiente

Tabla 6.2. Tasas máximas de aplicación conforme a la capacidad de infiltración del suelo (expresada, a título indicativo, por la textura y profundidad) y la pendiente.

Perfil y textura del suelo	Tasa máxima de aplicación (mmh ⁻¹)			
	Pendiente (%)			
	0-5	5-8	8-12	12-16
Suelo arenoso, hasta 1,8 m de profundidad	50	38	25	13
Suelo superficial arenoso sobre horizontes más compactos	38	25	19	10
Suelo areno-limoso, hasta 1,8 m de profundidad	25	20	15	10
Suelo superficial areno-limoso sobre horizonte compacto	19	13	10	8
Suelo franco-limoso, hasta 1,8 m de profundidad	13	10	8	5
Suelo superficial franco-limoso sobre horizonte compacto	8	6	4	2,5
Suelos de textura pesada (limosos a arcillosos)	4	2,5	2	1,5

Fuente: Keller y Bliesner (1990).

Fuente: Keller y Bliesner (1990)

Tabla 3.4

Propiedades hidrofísicas de los suelos asociadas a diferentes texturas

Cuadro N° 1.- Resumen de las propiedades físicas de los suelos

Textura del suelo	Total de espacio poroso o porosidad total (%)	Densidad aparente D _{ap} (gr/cm ³)	Capacidad de campo θ _{cc} (%)	Punto de marchitez permanente θ _{pmp} (%)	Humedad total aprovechable		
					Peso seco (θ _{cc} - θ _{pmp}) (%)	Volumen (θ _{cc} - θ _{pmp}) * D _{ap} (%)	cm/m
Arenoso	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	8 (6-10)
Franco arenoso	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	12 (9-15)
Franco	47 (43-49)	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	17 (14-20)
Franco arcilloso	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	19 (16-22)
Arcilloso arenoso	51 (49-53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	21 (18-23)
Arcilloso	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-25)	23 (20-25)



¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Fuente: Israelsen y Hansen (1985)

Tabla 3.5

Profundidad de raíces, fracción del agua del suelo fácilmente disponible (f) y humedad fácilmente aprovechable (HAF) para diferentes texturas y cultivos, cuando ETP es de 5-6 mm/día

Cultivos	Prof. raíces (m)	Fracción del agua fácilmente disponible en el suelo (f)	Humedad fácilmente aprovechable (HAF) para diferentes texturas(mm/m)		
			Fina	Mediana	Gruesa
Alfalfa	1.0 – 2.0	0.55	110	75	35
Plátano	0.5 – 0.9	0.35	70	50	20
Cebada	1.0 – 1.5	0.55	110	75	35
Frijol	0.5 – 0.7	0.45	90	65	30
Remolacha	0.6 – 1.0	0.50	100	70	35
Repollo	0.4 – 0.5	0.45	90	65	30
Zanahoria	0.5 – 1.0	0.35	70	50	20
Apio	0.3 – 0.5	0.20	40	25	10
Cítricos	1.2 – 1.5	0.50	100	70	30
Trébol	0.6 – 0.9	0.35	70	50	20
Cacao	0.7 – 2.1	0.20	40	30	15
Algodón	0.7 – 1.7	0.65	130	90	40
Pepino	0.7 – 1.2	0.50	100	70	30
Dátiles	1.5 – 2.5	0.50	100	70	30
Frut. Cad.	1.0 – 2.0	0.50	100	70	30
Lino	1.0 – 1.5	0.50	100	70	30
Granos pequeños	0.9 – 1.5	0.60	120	80	40
Vid	1.0 – 2.0	0.35	70	50	20
Pastos	0.5 – 1.5	0.50	100	70	30
Maíz	0.5 – 1.0	0.40	80	55	25
Lechuga	0.3 – 0.5	0.30	60	40	20
Maíz	1.0 – 1.7	0.60	120	80	40
Melón	1.0 – 1.5	0.35	70	50	25
Olivo	1.2 – 1.7	0.65	130	95	45
Cebolla	0.3 – 0.5	0.25	50	35	15
Palmas	0.7 – 1.1	0.65	130	90	40
Lenteja	0.6 – 1.0	0.35	70	50	25
Ají	0.5 – 1.0	0.25	50	35	15
Piña	0.3 – 0.6	0.50	100	65	30
Papa	0.4 – 0.6	0.25	50	30	15
Sorgo	1.0 – 2.0	0.55	110	75	35
Soya	0.6 – 1.3	0.50	100	75	35
Espinaca	0.3 – 0.5	0.20	40	30	15
Fresas	0.2 – 0.3	0.15	30	20	10
Remol.	0.7 – 1.2	0.50	100	70	30
Azúcar					
Caña de Azúcar	1.0 – 2.0	0.65	130	90	40
Girasol	0.8 – 1.5	0.45	90	60	30
Camote	1.0 – 1.5	0.65	130	90	40
Tabaco	0.5 – 1.0	0.35	70	50	25
precoz	0.5 – 1.0	0.65	130	90	40
Tabaco	0.7 – 1.5	0.40	180	60	25
Tomate	0.3 – 0.6	0.20	40	30	15
Verduras					
trigo	1.0 – 1.5	0.55	105	70	35

¹ Si ETP es de 3-4 mm/día o menos, aumentar en 30%.
Cuando ETP es de 8 mm/día o más reducir los valores en un 30%.

Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1988.

Fuente: Doorenbos y Pruitt (1998) citado por Vásquez y cols. (2017)

3.4. Estudio de Suelos en Manabí

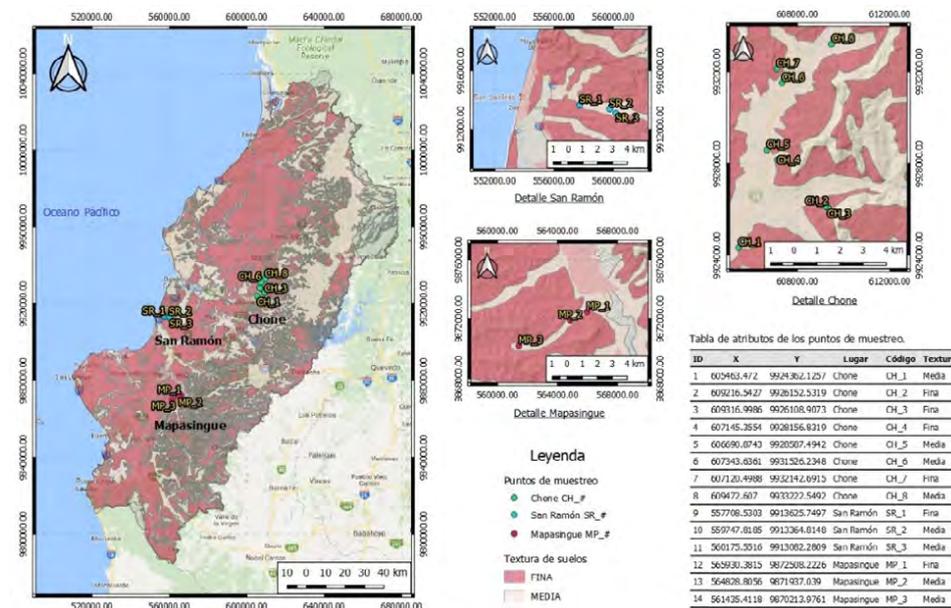
Para el desarrollo de este estudio se seleccionaron tres zonas de interés agroproductivo en la provincia Manabí: Zona norte del cantón Chone, San Ramón en el cantón Sucre y Mapasingue en el cantón Portoviejo. Una información más detallada de las tres zonas de estudio, así como de las coordenadas de los 14 puntos donde se determinaron las propiedades



hidrofísicas del suelo se puede apreciar en la figura 3.12.

Figura 3.12

Ubicación de las tres zonas de estudio y coordenadas de los 14 puntos analizados en la provincia de Manabí



Determinación de las Propiedades Hidrofísicas del Suelo

Se realizaron pruebas para determinar la capacidad de campo, la densidad real, la densidad aparente, la porosidad del suelo y velocidad de infiltración. El procedimiento para determinar cada una de las propiedades hidrofísicas se describe a continuación:

Capacidad de campo: se determinó por el método de la Plazoleta de Inundación. Las muestras de suelo se tomaron después de transcurridas 72 horas de la saturación a partir de considerar que los suelos eran de textura fina y media. Se tomaron tres muestras para cada horizonte de 10 cm de espesor desde la superficie hasta 50 cm de profundidad (5 profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm y 40-50 cm). Lo cual genera un total de 15 muestras de suelo. Esta operación se efectuó para una réplica en la misma plazoleta, lo cual generó un total de 30 muestras (dos perforaciones con 15 muestras en cada perforación como se muestra en la figura 3.13).



Figura 3.13

Extracción de muestras y procesamiento en el laboratorio para la determinación de la capacidad de campo, densidad real, densidad aparente y porosidad



Densidad real, densidad aparente y porosidad: se determinaron a partir de muestras extraídas en una calicata efectuada en el suelo en cada uno de los 14 puntos de estudio (primera imagen de la figura 2) y procesadas en el laboratorio según lo establecido en la norma ISO 11272: 2017 (ISO, 2017).

Velocidad de Infiltración: se determinó por el método del Infiltrómetro de doble anillo descrito por CIMMYT (2013). Esta técnica es una de las más utilizadas por la poca complejidad que requiere en comparación con las otras formas de evaluación. Consiste en penetrar el suelo con dos anillos de metal colocados de manera concéntrica. Los anillos pueden tener una altura de 30 a 40 cm y diámetros de: 30 a 40 cm (el cilindro interior) y de 50 a 60 cm el cilindro exterior. De manera simultánea se suministra agua en ambos cilindros y se comienzan a realizar mediciones de los niveles de agua en el cilindro interior mediante una regla con un flotante colocada en la parte superior. Se realiza un registro de los niveles infiltrados y de los suministros de agua para mantener los niveles estables en ambos cilindros a lo largo del tiempo (figura 3.14). Las mediciones finalizan cuando se evidencia una infiltración estable a lo largo del tiempo. Se utilizó la expresión matemática descrita por Kostiakov-Lewis y citada por Landini et al. (2007).

Figura 3.14

Colocación de los Anillos de Infiltración para la determinación de Velocidad de Infiltración en uno de los puntos de observación



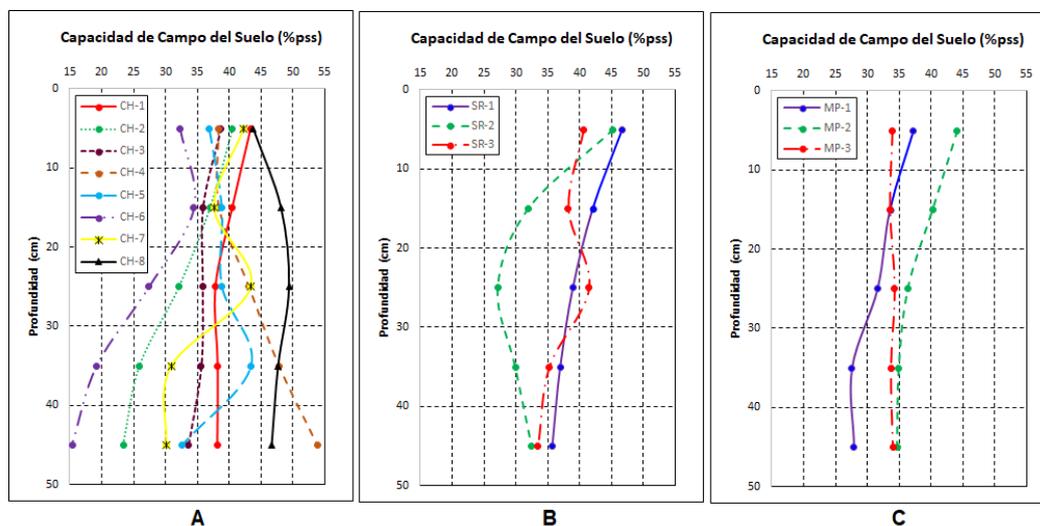
Comportamiento de la Capacidad de Campo

En la figura 3.15, se puede apreciar el comportamiento de la Capacidad de Campo en las tres zonas de estudio. En la figura 3.15-A se observa cómo se comportó la capacidad de campo en los ocho puntos analizados en Chone. Es evidente una estabilidad de este parámetro hasta los 20 cm de profundidad, donde se registran valores que oscilan entre 32 y 43% del peso de suelo seco (pss). A partir de los 30 cm de profundidad ocurre una mayor dispersión de estos resultados que abarcan un margen de 15 a 55% pss. Un aspecto pendiente para analizar en futuros estudios de esta propiedad debe estar orientado al efecto del hombre en las alteraciones la retención de humedad del suelo asociado al cambio de uso del suelo (Daza, 2014). La mayor estabilidad de este parámetro en todo el perfil de suelo se observó en las zonas de San Ramón (figura 3.15-B) y Mapasingue (figura 3.15-C). El valor promedio de Capacidad de Campo obtenido en Chone fue de 37.43% pss, mientras que para San Ramón se obtuvo un promedio de 37.06% pss y para Mapasingue fue de 34.51% pss.

Figura 3.15

Comportamiento de la Capacidad de Campo en las tres zonas de estudio:

A- Chone, B- San Ramón y C- Mapasingue.



Comportamiento de la Densidad Real

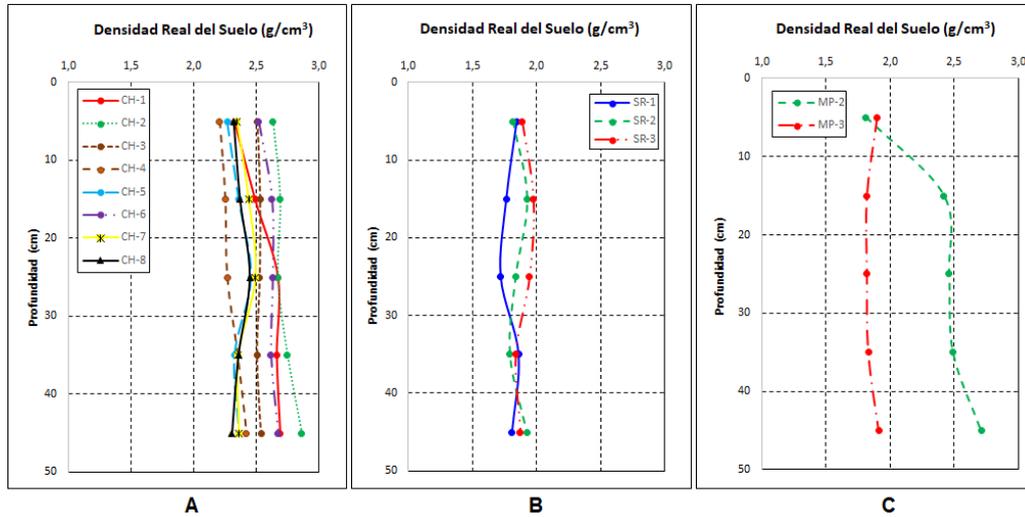
El comportamiento de la Densidad Real en todos los puntos se resume en la figura 3.16. Como consecuencia de irregularidades durante el procesamiento en el laboratorio se prescinde de la muestra del punto MP-1.



Figura 3.16

Comportamiento de la Densidad Real en las tres zonas de estudio:

A- Chone, B- San Ramón y C- Mapasingue.



Se puede apreciar que la Densidad Real obtenida en los suelos de Chone (figura 3.16 -A) es ligeramente superior a la de los suelos en San Ramón y Mapasingue figura 3.16-B y figura 3.16-C). En todos los casos estos valores resultaron bastante estables con el incremento de la profundidad. El valor promedio de la Densidad Real obtenido en Chone fue de 2.48 g/cm³, mientras que para San Ramón se obtuvo un promedio de 1.85 g/cm³ y para Mapasingue fue de 2.12 g/cm³. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Volverás et al. (2016), quienes observaron una disminución de esta propiedad con la profundidad.

Comportamiento de la Densidad Aparente

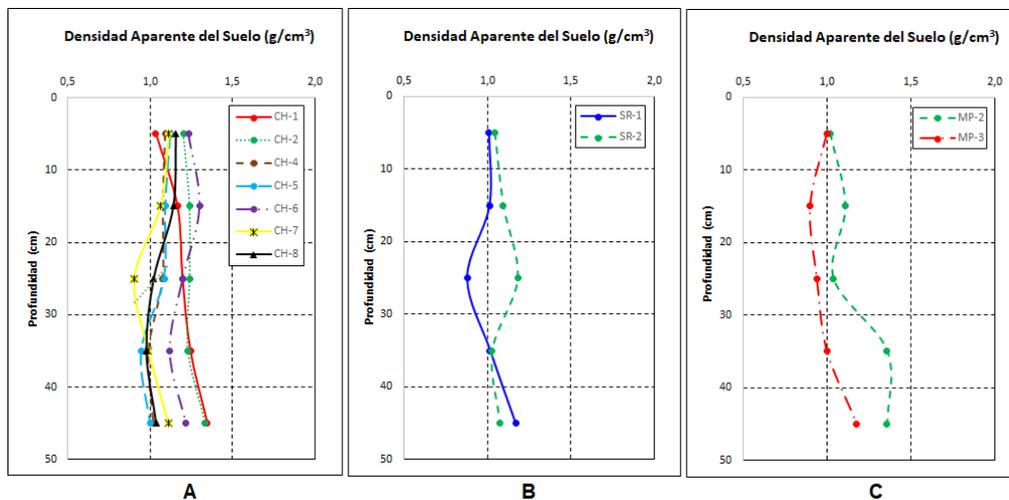
La Densidad Aparente se comportó acorde a lo reflejado en la figura 3.17. Como consecuencia de irregularidades durante el procesamiento en el laboratorio se prescinde de las muestras de los puntos CH-3 y MP-1.



Figura 3.17

Comportamiento de la Densidad Aparente en las tres zonas de estudio:

A- Chone, B- San Ramón y C- Mapasingue.



En la figura 3.17 A se observa que la Densidad Aparente obtenida en los suelos de Chone también es ligeramente superior a la de los suelos en San Ramón y Mapasingue (figura 3.17-B y figura 3.17-C). En todos los casos estos valores resultaron bastante estables con el incremento de la profundidad. El valor promedio de la Densidad Aparente obtenido en Chone fue de 1.12 g/cm³, mientras que para San Ramón se obtuvo un promedio de 1.05 g/cm³ y para Mapasingue fue de 1.09 g/cm³.

Según la evaluación de este parámetro emitida por Cairo (2003), estos valores clasifican como "bajos" al estar comprendidos entre 1 y 1,2 g/cm³. También se corresponden con el intervalo declarado de este parámetro para los suelos de textura arcillosa según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (2002), donde se establece un intervalo de 1 a 1.19 g/cm³ para esta textura de suelos.

Comportamiento de la Porosidad

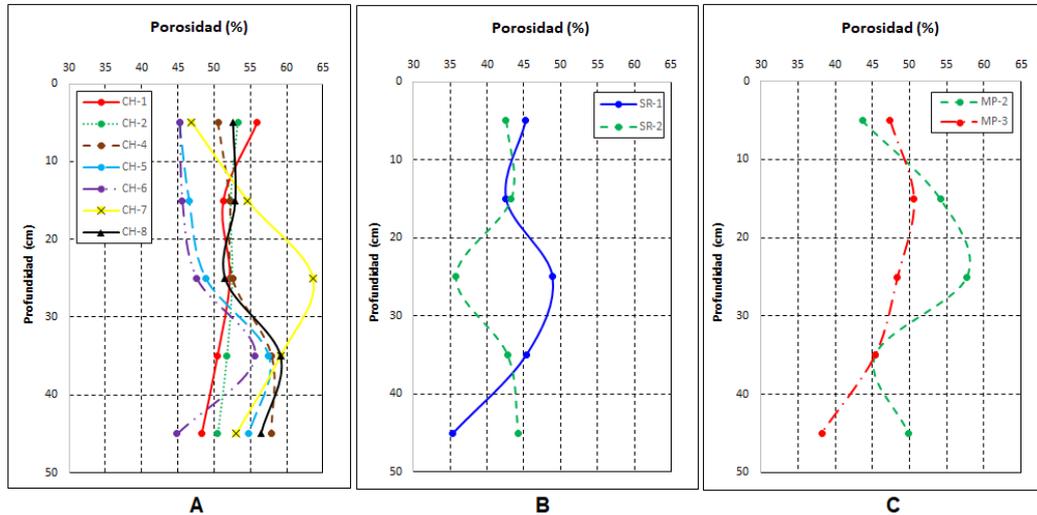
En la figura 3.18 se muestra el comportamiento de la porosidad por estratos hasta 50 cm de profundidad. En la figura 3.18-A se refleja que la mayor porosidad se obtuvo en los suelos de Chone osciló en un intervalo del 49 al 55% con un valor promedio de 52.32%. En la figura 3.18-B y figura 3.18-C se muestran los valores de porosidad en San Ramón y en Mapasingue con valores promedio de 42.59% y 48.05% respectivamente.



Figura 3.18

Comportamiento de la Porosidad en las tres zonas de estudio:

Chone, B- San Ramón y C- Mapasingue.



Un aspecto importante que debe considerarse al evaluar la porosidad de los suelos es el efecto de los sistemas de labranza (Leyva et al., 2014), asociados al uso de la tierra que deberá ser evaluado en cada zona para futuros estudios y que guarda una estrecha relación con la velocidad de infiltración.

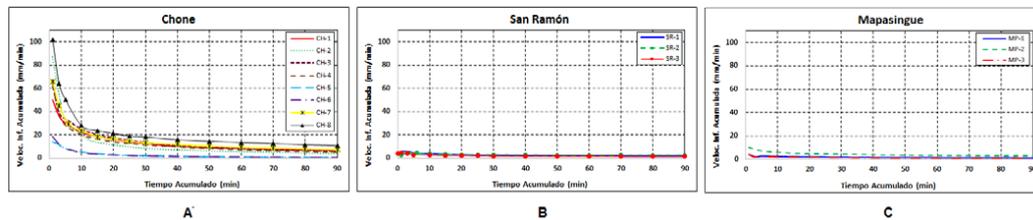
Comportamiento de la Velocidad de Infiltración

En la figura 3.19 se muestra el comportamiento de la Velocidad de Infiltración Acumulada en los 14 puntos que se evaluaron. Como se evidencia en la figura 3.19-A, en Chone existen dos tipos de suelos diferenciados por su velocidad de infiltración. Los puntos CH-5 y CH-6 muestran velocidades de infiltración inferiores a los 20 mm/min. Este comportamiento contrasta con las velocidades de infiltración que se obtuvieron en los seis puntos restantes en Chone donde se alcanzan velocidades de infiltración al inicio de las pruebas entre 45 y 100 mm/min. Un aspecto interesante resulta al observar que estos mismos puntos fueron los que menor valor de porosidad reflejaron en los primeros estratos en Chone (figura 3.19 A). Los suelos de San Ramón y Mapasingue también mostraron velocidades de infiltración muy bajas que no sobrepasan los 10 mm/min al inicio de las pruebas y luego se estabilizan en valores inferiores.



Figura 3.19

Comportamiento de la Velocidad de Infiltración Acumulada en las tres zonas de estudio: A- Chone, B- San Ramón y C- Mapasingue.



La velocidad de infiltración estabilizada posterior a los 60 minutos de prueba en los puntos de baja velocidad en Chone estuvo en el intervalo de 0.1 a 4.5 mm/min. En igual lapso este parámetro en San Ramón osciló entre 1.2 y 2.4 mm/min y en Mapasingue se alcanzaron valores entre 0.09 y 1.6 mm/min de velocidad de infiltración estabilizada. Aunque no fue un objetivo de este estudio analizar el vínculo textura-infiltración del agua en el suelo, se observó poca relación entre estas propiedades, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Hernández y cols. (2017) y por Landini et al. (2007), estos últimos concluyeron que “Las diferencias observadas en las tasas de infiltración se atribuirían, más allá de la clasificación del suelo, a otros factores tales como el uso de la tierra y la influencia de la carga animal”.

Estos resultados son de vital importancia si se pretende regar en dichas zonas con sistemas de riego por aspersión ya que es preciso garantizar que la intensidad de aplicación del agua no supere a la velocidad de infiltración en estos suelos.

Conclusiones del estudio de Suelos en Manabí

- El valor promedio de Capacidad de Campo obtenido en Chone fue de 37.43 % pss, muy cercano al valor obtenido en San Ramón de 37.06% pss, a diferencia de Mapasingue donde solo se alcanzó 34.51% pss.
- La Densidad Real promedio obtenida en Chone fue de 2.48 g/cm³, mientras que para San Ramón se obtuvo un promedio de 1.85 g/cm³ y para Mapasingue 2.12 g/cm³.
- El valor promedio de la Densidad Aparente obtenido en Chone fue de 1.12 g/cm³, el valor más bajo se obtuvo en San Ramón con 1.05 g/cm³ y en Mapasingue se obtuvo la cifra de 1.09 g/cm³.
- La mayor porosidad se obtuvo en los suelos de Chone y osciló entre el 49 y el 55% con un valor promedio de 52.32%. Los valores de porosidad promedio en San Ramón y en Mapasingue fueron de 42.59% y 48.05% respectivamente.



- Se detectó que existen dos tipos de suelos bien diferenciados en su velocidad de infiltración en Chone. La velocidad de infiltración estabilizada en Chone posterior a los 60 minutos de prueba estuvo en el intervalo de 0.1 a 4.5 mm/min. En igual lapso este parámetro en San Ramón osciló entre 1.2 y 2.4 mm/min y en Mapasingue se alcanzaron valores entre 0.09 y 1.6 mm/min de velocidad de infiltración estabilizada.

Capítulo 4

Estudio de los Cultivos y Planificación del Régimen de Riego

4.1. Régimen de Riego de Proyecto y Régimen de Riego de Explotación

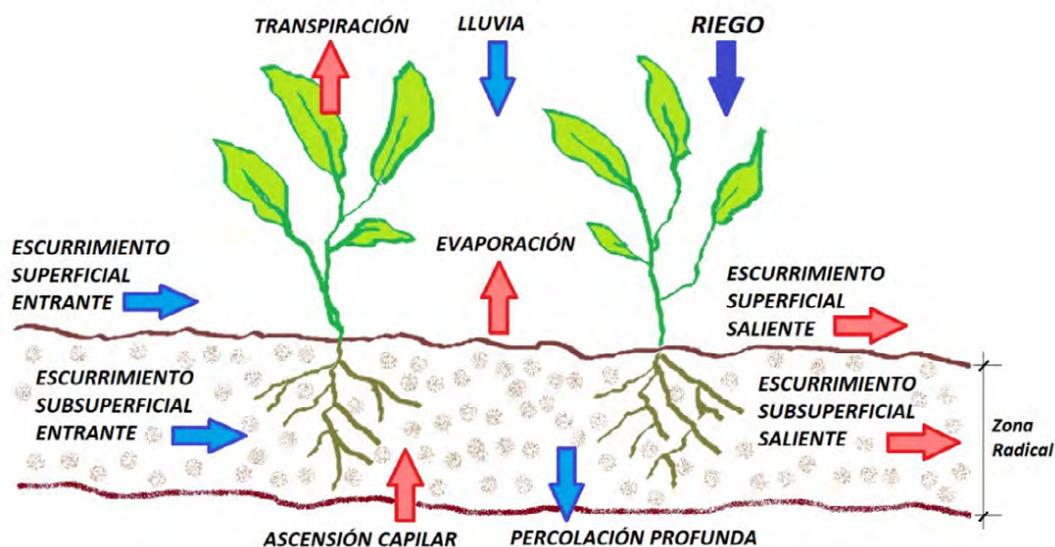
Factores a considerar para planificar el riego de los cultivos.

Para planificar el riego de un cultivo es preciso considerar todos los factores que intervienen en el intercambio de agua que tienen las plantas con su entorno inmediato (figura 4.1). Este intercambio se realiza mediante ingresos y egresos de tres formas:

- Entre el suelo y las raíces de las plantas.
- Entre la atmósfera y la parte aérea de las plantas (las hojas principalmente).
- Entre el suelo y la atmósfera.

Figura 4.1

Factores que intervienen en el intercambio de agua que tienen las plantas con su entorno inmediato (Ingresos en Azul y Egresos en Rojo)



A su vez es importante conocer que todas las plantas no tienen el mismo consumo de agua. El consumo de agua de una planta depende en gran medida de la especie y variedad que se trate y de la edad o desarrollo que haya alcanzado. Así es lógico entender que una planta de ajo (*Allium sativum*) no consume la misma cantidad de agua que una de plátano (*Musa paradisiaca*). A su vez, el plátano consume menos cantidad de agua si solo tiene 3 meses de desarrollo en comparación con una planta con 12 meses de edad.

Los factores que intervienen en el consumo de agua de una planta se pueden clasificar en tres categorías para su mayor comprensión:

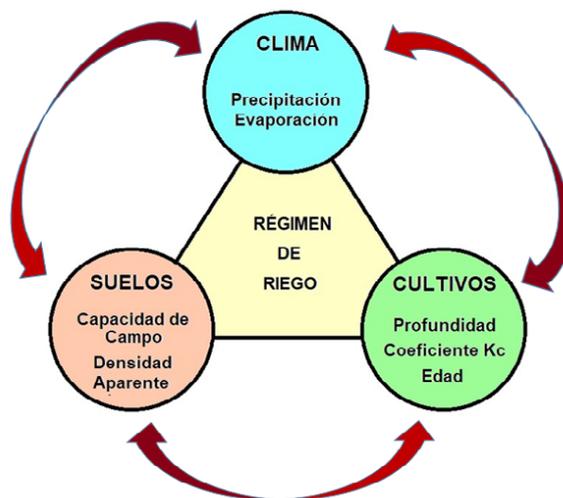
- **Factores Climáticos:** Precipitación, Evaporación, Humedad relativa, Velocidad de Viento, Radiación Solar y Temperatura.
- **Factores de Suelo o edáficos:** Textura, Porosidad, Densidad aparente, Capacidad Máxima de Retención de Humedad (Capacidad de Campo), Velocidad de Infiltración.
- **Factores de Cultivo o fisiológicos:** Profundidad de raíces, Período de desarrollo o edad del cultivo, Especie y Coeficiente del Cultivo (Kc).

Una descripción más detallada de estos factores será abordada en los capítulos siguientes de este libro.

El conocimiento de la interacción de estos factores en su conjunto es lo que permite definir el Régimen de Riego de un Cultivo que pudiera resumirse mediante la imagen mostrada en la figura 4.2.

Figura 4.2

Factores que intervienen en el Régimen de Riego de un Cultivo



El Régimen de Riego de un cultivo es la planificación a lo largo del tiempo de las dosis de agua y los momentos en que se deben aplicar para mantener las plantas en buen estado de humedad y propiciar con ello un buen desarrollo y con ello un mayor rendimiento agrícola.

El Régimen de Riego se puede definir en dos condiciones:

- Antes de iniciar la siembra: se realiza para definir con anterioridad las cantidades de agua necesarias, la forma en que se van a aplicar durante todo el ciclo de vida



del cultivo y la infraestructura necesaria para garantizar el suministro (equipos de bombeo, sistema de riego, fuentes de agua y de almacenamiento). A esta planificación se le llama *Régimen de Riego de Proyecto* y se realiza a partir de analizar datos históricos de variables las climatológicas (precipitación y evaporación principalmente) en la zona a sembrar. También se requiere conocer de los Factores de Suelo y del Cultivo para su cálculo preciso.

- A partir de iniciada la siembra: se realiza de manera operativa para definir con cierta inmediatez la cantidad de agua necesaria para el cultivo. Se puede calcular a partir de mediciones sistemáticas de las variables climatológicas (lluvia y evaporación) en una estación meteorológica cercana. También requiere de mediciones frecuentes de la humedad en el suelo que puede hacerse por diferentes procedimientos. A esta forma de planificar los riegos con el cultivo ya sembrado se denomina *Régimen de Riego de Explotación*.

Es importante aclarar que estas formas de planificación de riego requieren de la asesoría de especialistas agrónomos o hidráulicos que dominan estos procedimientos. Para los productores que no pueden acceder a estas asesorías resulta más factible aplicar los riegos por otros criterios que tienen una base empírica como son el riego por intervalo fijo donde se definen los días e intervalos de tiempo que se destinarán al riego durante cada semana o mes.

No obstante, el riego por intervalo fijo también puede ser más efectivo si se define sobre los criterios técnicos antes mencionados. Esto permitiría al agricultor hacer un uso más eficiente del agua, ahorrar energía, recursos económicos y tiempo a la vez que permitiría obtener mayores rendimientos en sus cosechas.

Existen herramientas informáticas que permiten el cálculo del Régimen de Riego de Proyecto, aunque esta planificación también puede hacerse mediante una programación en EXCEL.

Uno de los aspectos más importantes para garantizar una planificación precisa del Régimen de Riego es la calidad de los Datos (climáticos, de suelo y de cultivo). Resulta muy frecuente la tendencia del procesamiento de los datos climáticos utilizando valores PROMEDIO. Si se trabaja con valores "promedio" de la lluvia y la evaporación implicaría que la programación de riego que se realice tendría una garantía del 50%. Eso significa que la mitad de los años pueden ser con precipitaciones superiores y la otra mitad con precipitaciones inferiores (lo mismo sucedería con la Evaporación). Bajo esas condiciones el Régimen de Riego que se defina tendría una probabilidad de acierto del 50%, lo cual no es recomendable. Por tal motivo se recomienda realizar un procesamiento estadístico para definir la lluvia del 25% de probabilidad de sobrepaso y la evaporación del 75% de probabilidad



de sobrepaso, lo cual le transfiere a la planificación del Régimen de Riego una mayor garantía.

Una de las herramientas informáticas más conocidas de manera universal para el cálculo del Régimen de Riego es el programa CROPWAT 8.0.

Este software libre elaborado por la FAO (2009b), está disponible en varios idiomas y puede descargarse sin costo mediante el siguiente enlace:

<http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>

Existe también un manual de usuario y tutoriales, estos últimos pueden consultarse en los siguientes enlaces que proporciona el Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación:

- Parte 1: Instalación y uso del Sotware CROPWAT: <https://www.youtube.com/watch?v=OMUamEkWJkA>
- Parte 2: Proceso de Trabajo y Datos de entrada del CROPWAT: <https://www.youtube.com/watch?v=GeUPaH1owA4>
- Parte 3: Generación y Consulta de Resultados del CROPWAT: <https://www.youtube.com/watch?v=VwOERVXfG24>

4.2. Criterios de Programación del Régimen de Riego de Proyecto

El programa CROPWAT 8.0 (FAO, 2009b), permite programar el Régimen de Riego de Proyecto a partir de los siguientes criterios:

- a) Riego a intervalos definidos por el Programador: se define un intervalo de días constante para aplicar cada riego en función del criterio del agricultor sobre la demanda del cultivo en la zona.
- b) Riego a agotamiento crítico: se planifica el riego cuando el Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) se ha usado completamente. Esta opción representa la forma clásica de determinar la programación de riego, resultando en riegos reducidos, pero a irregulares intervalos de riego, lo cual requiere de un sistema de riego flexible.
- c) Riego por debajo o por encima del agotamiento crítico: como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Valores por debajo del 100% significan que el riego se llevará a cabo antes de que el AFA ha sido completamente agotada. Valores por encima del 100% van a permitir un cierto nivel de estrés hídrico del cultivo antes de la aplicación de riego.
- d) Riego a intervalos fijos por etapa: consiste en definir un intervalo de tiempo para cada etapa de crecimiento del cultivo (inicial, desarrollo, mediados de temporada, final).
- e) Riego con agotamiento fijo: consiste en definir el momento del riego en base a un valor fijo de agotamiento de la humedad del suelo (expresado en milímetros). Esta



- opción es adecuada para ajustar la programación de riego para un método de riego de campo, a partir de considerar que en cada riego se entregará una dosis constante.
- f) Riego Regar a determinada reducción de ETc por etapa: esta opción consiste en definir el momento de riego basado en una reducción aceptable de la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc). Esta opción es útil en caso de que se prevea programación de riego bajo déficit, en vista de escasez prevista de suministro de agua.
- g) Riego basado en una reducción del rendimiento determinada: se utiliza para definir la Programación en base a una Reducción de rendimiento aceptable. Como en el caso de la opción anterior, esto es útil en caso de incorporar riego deficitario.

Una vez definido el criterio de riego, se procede a definir la magnitud de la dosis de riego a aplicar. Esta magnitud también puede variar a partir de las siguientes consideraciones:

- Lámina de aplicación definida por el programador: permite definir láminas de aplicación de cada riego. Funciona de manera similar al “*intervalo de riego definido por el programador*” (según el criterio de riego explicado en inciso a), pero en este caso sólo la lámina de aplicación es ajustable.
- Lámina para llevar el suelo a capacidad de campo: consiste en regar hasta llevar el suelo a Capacidad de Campo (CC). Como el agotamiento en la zona radicular varía con el cambio de la profundidad radicular y de los niveles permitidos de agotamiento, las aplicaciones de riego pueden variar considerablemente a lo largo de la temporada.
- Lámina para llevar el suelo por debajo o por encima de capacidad de campo: como en el caso anterior, pero con la posibilidad de fijar el porcentaje de agotamiento. Cualquier valor por debajo del 100% significa que la humedad del suelo no llegará a CC, lo cual es útil para considerar posibles lluvias. Cualquier valor por encima de 100% va a permitir un cierto nivel de percolación profunda (PP), útil para lixiviación y control de la salinidad.
- Lámina de riego fija: consiste en definir una Lámina de riego fija (expresada en milímetros). Las láminas de riego normalmente se adaptan al método de riego; esta es una condición predominante en la mayoría de los sistemas de riego superficial, en los que las láminas de riego permiten poca variación.
-

4.3. Demanda de los Cultivos a partir de conocer el valor de Kc y la Evapotranspiración

El coeficiente del cultivo es un parámetro adimensional que relaciona la ETo con la ETc. Este coeficiente depende del tipo de cultivo (variedad), época de siembra, período de



desarrollo y zona climática donde se encuentra.

Una relación más detallada se resume en la tabla 4.1 a partir de reportes de la FAO (2006).

Tabla 4.1

Valores de K_c para diferentes cultivos en cada una de sus etapas de desarrollo

Coefficiente basal del cultivo K_{cb} para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos ($HR_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2 \text{ m s}^{-1}$) para ser usados con la E_c FAO Penman-Monteith ET_0 .

Cultivo	$K_{cb \text{ ini}}^1$	$K_{cb \text{ men}}^1$	$K_{cb \text{ fin}}^1$
a. Hortalizas Pequeñas	0,15	0,95	0,85
Brócoli		0,95	0,85
Col de Bruselas		0,95	0,85
Repollo		0,95	0,85
Zanahoria		0,95	0,85
Coliflor		0,95	0,85
Apio (Céleri)		0,95	0,90
Ajo		0,90	0,60
Lechuga		0,90	0,90
Cebolla		0,95	0,65
Verde		0,90	0,90
Semilla		1,05	0,70
Espinaca		0,90	0,85
Rábano		0,85	0,75
b. Hortalizas - Familia de la Solanáceas	0,15	1,10	0,70
Berenjena		1,00	0,80
Pimiento Dulce (campana)		1,00 ²	0,80
Tomate		1,00 ²	0,60-0,80
c. Hortalizas - Familia de las Cucurbitáceas	0,15	0,95	0,70
Melón		0,75	0,50
Pepino		0,95 ²	0,70
Cosechado fresco		0,95	0,80
Cosechado a Máquina		0,95	0,80
Calabaza de Invierno		0,95	0,70
Calabacín (zucchini)		0,90	0,70
Melón dulce		1,00	0,70
Sandía		0,95	0,70
d. Raíces y Tubérculos	0,15	1,00	0,85
Remolacha, mesa		0,95	0,85
Yuca o Mandioca año 1		0,70 ³	0,20
año 2		1,00	0,45
Chirivía		0,95	0,85
Papa o Patata		1,10	0,65 ⁴
Camote o Batata		1,10	0,55
Nabos (Rutabaga)		1,00	0,85
Remolacha Azucarera		1,15	0,50 ⁵

¹ Estos son valores de K_{cb} que representan condiciones estándares con una superficie seca del suelo. Estos valores deberán ser utilizados únicamente para la metodología del coeficiente dual $K_{cb} + K_{c^*}$. Los valores de la altura máxima del cultivo, para ajuste climático de K_{cb} , están incluidos en el Cuadro 12 (FAO, 2006).

² En algunas oportunidades, los frijoles (judías), guisantes, leguminosas, tomates, pimientos y pepinos se cultivan utilizando empalizadas que alcanzan los 1,5 a 2 metros de altura. En esos casos es necesario incrementar los valores de K_{cb} para frijoles (judías) verdes, pimientos y pepinos se puede asumir con un valor de 1,10 y en el caso de los tomates, frijoles (judías) secos y los guisantes, de 1,15. Bajo esas condiciones también debe aumentarse el valor de h .

³ Los valores correspondientes a la etapa de mediados de temporada para la mandioca, asumen condiciones de no estrés durante o después de la temporada lluviosa. Los valores de $K_{cb \text{ fin}}$ toman en cuenta la dormancia (letargo) durante la estación seca.

⁴ El valor de $K_{cb \text{ fin}}$ para las papas (patatas) es de alrededor de 0,35 para papas (patatas) de ciclo largo con rotura de los estolones.

⁵ El valor de $K_{cb \text{ fin}}$ corresponde a condiciones sin riesgo durante el último mes de la temporada productiva. El valor de $K_{cb \text{ fin}}$ para la remolacha azucarera será mayor, hasta 0,9, cuando ocurra riego o lluvias significativas durante el último mes.

Fuente: FAO (2006)



Continuación Tabla:

Cultivo	$K_{cb\ ini}^1$	$K_{cb\ med}^1$	$K_{cb\ fin}^1$
e. Leguminosas (leguminosae)	0,15	1,10	0,50
Frijoles o judías verdes		1,00 ²	0,80
Frijoles Judías, secas y frescos		1,10 ²	0,25
Garbanzo (Chick Pea)		0,95	0,25
Habas		1,10 ²	1,05
Frescas			
Seco/Semilla		1,10 ²	0,20
Garbanzo (Chick Pea)		1,05	0,25
Caupis (cowpeas)		1,00	0,55-0,25 ⁶
Maní o Cacahuete		1,10	0,50
Lentejas		1,05	0,20
Guisantes		1,10 ²	1,05
Frescos			
Secos/Semilla		1,10	0,20
Soya o Soja		1,10	0,30
y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)			
Alcachofa	0,15	0,95	0,90
Espárragos	0,15	0,90 ⁷	0,20
Menta	0,40	1,1	1,05
Fresas	0,30	0,8	0,70
g. Cultivos Textiles	0,15		
Algodón		1,10-1,15	0,50-0,40
Lino		1,05	0,20
Sisal ⁸		0,4-0,7	0,4-0,7
h. Cultivos Oleaginosos	0,15	1,10	0,25
Ricino		1,10	0,45
Canola (Colza)		0,95-1,10 ⁹	0,25
Cártamo		0,95-1,10 ⁹	0,20
Sésamo (ajonjolí)		1,05	0,20
Girasol		0,95-1,10 ⁹	0,25
i. Cereales	0,15	1,10	0,25
Cebada		1,10	0,15
Avena		1,10	0,15
Trigo de Primavera		1,10	0,15-0,3 ¹⁰
Trigo de Invierno	0,15-0,5 ¹¹	1,10	0,15-0,3 ¹⁰
Maíz	0,15	1,15	0,50, 0,15 ¹²
Grano			
Dulce		1,10	1,00 ¹³
Mijo		0,95	0,20
Sorgo		0,95-1,05	0,35
Grano			
Dulce		1,15	1,00
Arroz	1,00	1,15	0,70-0,45

⁶ El primer valor de $K_{cb\ fin}$ es para cuando se cosecha fresco. El segundo valor es para cuando se cosecha seco.

⁷ El valor de K_c para los espárragos permanece como $K_{cb\ med}$ corresponde a después del recrecimiento de la vegetación, después de terminada la cosecha de los vástagos.

⁸ El valor de K_{cb} para el sisal depende de la densidad de siembra y del manejo del agua (es decir del estrés hídrico intencional).

⁹ Los valores menores son para cultivos de secano con una menor densidad de población.

¹⁰ El valor mayor es para cultivos cosechados a mano.

¹¹ Los dos valores de $K_{cb\ ini}$ para el trigo de primavera corresponde a una cobertura del suelo menor al 10% y para durante el período de letargo invernal, si la vegetación cubre completamente el suelo pero el suelo no está congelado.

¹² El primer valor de $K_{cb\ fin}$ es para cuando el cultivo se cosecha con gran humedad en el grano. El segundo valor de $K_{cb\ fin}$ es para cuando se cosecha después del secado completo del grano en el campo (hasta alrededor de 18% de humedad, basado en materia húmeda).

¹³ si se cosecha en fresco para consumo humano. Usar el valor $K_{cb\ fin}$ para maíz de campo si el maíz dulce se deja madurar y secar en el campo.



Continuación Tabla:

Cultivo	$K_{cb\ ini}^1$	$K_{cb\ men}^1$	$K_{cb\ fin}^1$
j. Forrajes			
Alfalfa (heno)	períodos individuales de corte	0,30 ¹⁴	1,15 ¹⁴
	para semilla	0,30	0,45
Bermuda (heno)	efecto promedio de los cortes	0,50	0,95 ¹⁵
	cultivo para semilla (primavera)	0,15	0,85
Trébol (heno), Bersin	períodos individuales de corte	0,30 ¹⁴	1,10 ¹⁴
Rye Grass (heno)	efecto promedio de los cortes	0,85	1,00 ¹⁵
Sudán heno (anual)	períodos individuales de corte	0,30 ¹⁴	1,10 ¹⁴
Pastos de Pastoreo	Pastoreo de Rotación	0,30	0,80-1,00
	Pastoreo Extensivo	0,3	0,70
Césped (turfgrass)	época fría ¹⁶	0,85	0,9
	época caliente ¹⁶	0,75	0,80
k. Caña de Azúcar		0,15	1,20
l. Frutas Tropicales y Árboles			
Banana o Plátano	1 ^{er} año	0,15	1,05
	2 ^{do} año	0,60	1,10
Cacao		0,90	1,00
Café	suelo sin cobertura	0,80	0,90
	con malezas	1,00	1,05
Palma Datilera		0,80	0,85
Palmas		0,85	0,90
Piña ¹⁷	suelo sin cobertura	0,15	0,25
	con cobertura de gramíneas	0,30	0,45
Árbol de Caucho		0,85	0,90
Té	no sombreado	0,90	0,95
	sombreado ¹⁸	1,00	1,10
m. Uvas y Moras			
Moras (matorrales)		0,20	1,00
Uvas	de masa o pasas	0,15	0,80
	vino	0,15	0,65
Lúpulo		0,15	1,00

¹⁴ Estos valores del coeficiente de K_{cb} para cultivos de heno corresponden a la situación inmediatamente después del corte; en cobertura completa; e inmediatamente antes del corte, respectivamente. La temporada de crecimiento se define como una serie de períodos individuales de corte.

¹⁵ Estos valores de $K_{cb\ med}$ para los pastos bermuda y reygrass destinados a heno son un promedio general considerando los valores de K_{cb} para antes y después de los cortes. Estos se aplican para el período que siguen al desarrollo inicial hasta el inicio de la etapa final de la temporada.

¹⁶ Variedades de pasto de temporada fría incluyen os sitios cultivados densamente con bluegrass, reygrass, y fescue. Variedad de temporada cálida incluyen pastos tipo bermuda y St. Agoustine. El valor de 0,90 para el pasto de época fría corresponde a un 0,06 a 0,08 m de altura de corte, bajo condiciones normales de césped. Cuando se practica manejo cuidadoso del agua y no se requiere de un crecimiento rápido, se puede reducir los valores de K_{cb} para césped en 0,10.

¹⁷ La planta de piña posee una transpiración muy baja debido a que la misma cierra sus estomas durante todo el día y los abre durante la noche. Por lo tanto, la mayor parte de la ET_c en la piña está constituida por la evaporación que ocurre en el suelo.

¹⁸ Incluye el requerimiento de agua de los árboles bajo sombra.



Continuación Tabla:

Cultivo	$K_{cb\ ini}^1$	$K_{cb\ med}^1$	$K_{cb\ fin}^1$
n. Árboles frutales			
Almendras, sin cobertura de suelo	0,20	0,85	0,60 ¹⁹
Manzanas, cerezas, Peras ²⁰			
sin cobertura de suelo, con fuertes heladas	0,35	0,90	0,65 ¹⁹
sin cobertura de suelo, sin heladas	0,50	0,90	0,70 ¹⁹
cobertura activa de suelo, con fuertes heladas	0,45	1,15	0,90 ¹⁹
cobertura activa de suelo, sin heladas	0,75	1,15	0,80 ¹⁹
Albaricoque, Durazno o Melocotonero, Drupas (frutales de hueso) ^{20, 21}			
sin cobertura de suelo, con fuertes heladas	0,35	0,85	0,60 ¹⁹
sin cobertura de suelo, sin heladas	0,45	0,85	0,60 ¹⁹
cobertura activa de suelo, con fuertes heladas	0,45	1,10	0,85 ¹⁹
cobertura activa de suelo, sin heladas	0,75	1,10	0,80 ¹⁹
Aguacate, sin cobertura de suelo	0,50	0,80	0,70
Cítricos, sin cobertura de suelo ²²			
70% cubierta vegetativa	0,65	0,60	0,65
50% cubierta vegetativa	0,60	0,55	0,60
20% cubierta vegetativa	0,45	0,40	0,50
Cítricos, con cobertura activa de suelo malezas ²³			
70% cubierta vegetativa	0,75	0,70	0,75
50% cubierta vegetativa	0,75	0,75	0,75
20% cubierta vegetativa	0,8	0,80	0,85
Coníferas ²⁴	0,95	0,95	0,95
Kiwi	0,20	1,00	1,00
Olivos 840 a 60% de cobertura de suelo por dosel) ²⁵	0,55	0,65	0,65
Pistachos sin cobertura del suelo	0,20	1,05	0,40
Huerto de Nogal ¹⁹	0,40	1,05	0,60 ¹⁹

¹⁹ Estos valores de $K_{cb\ fin}$ son representativos del K_{cb} antes de la caída de las hojas. Después de la caída de las hojas, $K_{cb\ fin}=0,15$ para suelo descubierto y seco, o para cobertura muerta del suelo; $K_{cb\ fin}=0,50$ a $0,80$ para cobertura activa y en desarrollo.

²⁰ Referirse a la Ec.94, 97bo 98 y notas de pie de página 22 y 23 (FAO, 2006) para estimar K_{cb} para sitios con cultivos inmaduros.

²¹ La categoría de las drupas es aplicable a los duraznos, albaricoques, peras, ciruelas y pecanas.

²² Estos valores de K_{cb} pueden ser calculados a partir de la Ec. 98 (FAO, 2006) para $K_{cb\ min}=0,15$ y $K_{cb\ full}=0,70, 0,65$ y $0,70$ para las etapas inicial, mediados y final de temporada, y $f_{c\ et}=f_c$ donde f_c =fracción del suelo cubierto por el dosel del árbol (se asume que el sol se encuentra directamente por encima). El valor correspondiente a la etapa de mediados de temporada es menor que los correspondientes a las etapas inicial y final debido a los efectos del cierre estomático durante períodos de máxima ET. Para climas húmedos y sub-húmedos, donde existe un menor control estomático por parte de los cítricos, se pueden aumentar los valores de $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ med}$, $K_{cb\ fin}$ en un $0,1 - 0,2$, según Rogers *et al.* (1983)

²³ Estos valores de K_{cb} pueden ser calculados como $K_{cb}=f_c K_{cb\ ncs} + (1-f_c) K_{cb}$ cobertura donde $K_{cb\ ncs}$ es el valor de K_c de los cítricos que no poseen cobertura activa de suelo (calculado según la nota al pie de página 22 (FAO, 2006)); K_{cb} cobertura es el valor de K_{cb} para la cobertura activa del suelo (0,90) y el f_c se define en la nota a pie de página 22 (FAO, 2006). Alternativamente, el valor de K_{cb} para los cítricos con cobertura activa de suelo puede ser estimado directamente a través de la Ec. 98 considerando $K_{cb\ min}=K_{cb}$ cobertura. Para climas húmedos, semi-húmedos, donde existe un menor control estomático por parte de los cítricos, se pueden incrementar los valores de $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ med}$, $K_{cb\ fin}$ en un $0,1 - 0,2$, según Rogers *et al.* (1983)

²⁴ Las coníferas presentan un control estomático significativo debido a su reducida resistencia aerodinámica. Los valores de K_c pueden ser fácilmente inferiores a los presentados, los cuales representan condiciones de humedecimiento óptimo en bosques extensos.

²⁵ Estos coeficientes representan un 40 a 60% de cobertura del suelo. Referirse a la Ec. 98 ejemplo 43 y notas a pie de página 22 y 23 (FAO, 2006), para estimar K_{cb} para cultivos inmaduros.

Como se puede apreciar, en la tabla anterior se definen valores de K_c asociados a las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (inicial, media y final). La duración de esas etapas también ha sido definida por la FAO (2015), en función del tipo de cultivo y de la región y época en que se sembró.

Esta información se presenta en la tabla 4.2 según recomendaciones de la FAO (2006).



¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Tabla 4.2

Duración de las etapas de crecimiento del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)*

Duración de las Etapas de Crecimiento* del cultivo para distintos períodos de siembra y regiones climáticas (días)							
Cultivo	Inic. (L _{ini})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
a. Hortalizas Pequeñas							
Brécol (Brócoli)	35	45	40	15	135	Sept.	Calif. Desierto, EU
Repollo	40	60	50	15	165	Sept.	Calif. Desierto, EU
Zanahoria	20	30	50/30	20	100	Oct./Ene.	Clima Árido
	30	40	60	20	150	Feb./Mar.	Mediterráneo
	30	50	90	30	200	Oct.	Calif. Desierto, EU
Coliflor	35	50	40	15	140	Sept.	Calif. Desierto, EU
Apio (Célen)	25	40	95	20	180	Oct.	(Semi) Árido
	25	40	45	15	125	Abril	Mediterráneo
	30	55	105	20	210	Ene.	(Semi) Árido
Crucíferas ¹	20	30	20	10	80	Abril	Mediterráneo
	25	35	25	10	95	Febrero	Mediterráneo
	30	35	90	40	195	Oct./Nov.	Mediterráneo
Lechuga	20	30	15	10	75	Abril	Mediterráneo
	30	40	25	10	105	Nov./Ene.	Mediterráneo
	25	35	30	10	100	Oct./Nov.	Región Árida
	35	50	45	10	140	Febrero	Mediterráneo
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150	Abril	Mediterráneo
	20	35	110	45	210	Oct., Ene.	Región Árida, Calif.
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70	Abril/Mayo	Mediterráneo
	20	45	20	10	95	Octubre	Región Árida
	30	55	55	40	180	Marzo	Calif., EU
Cebolla (semilla)	20	45	165	45	275	Sept.	Calif. Desierto, EU
Espinaca	20	20	15/25	5	60/70	Abr./Sept./Oct.	Mediterráneo
	20	30	40	10	100	Noviembre	Medit., Europa
Rábano	5	10	15	5	35	Mar./Abr.	Mediterráneo
	10	10	15	5	40	Invierno	Medit., Europa
b. Hortalizas - Familia de las Solanáceas							
Berenjena	30	40	40	130/140	130/140	Octubre	Región Árida
	30	45	40			May/Junio	Mediterráneo
Pimiento Dulce (campana)	25/30	35	40	20	125	Abril/Junio	Europa y Medt.
	30	40	110	30	210	Octubre	Región Árida
Tomate	30	40	40	25	135	Enero	Región Árida
	35	40	50	30	155	Abril/Mayo	Calif., EU
	25	40	60	30	155	Enero	Calif., Desierto, EU
	35	45	70	30	180	Oct/Nov.	Región Árida
	30	40	45	30	145	Abril/Mayo	Mediterráneo
c. Hortalizas - Familia Cucurbitáceas							
Melón	30	45	35	10	120	Enero	Calif., EU
	10	60	25	25	120	Agosto	Calif., EU
Pepino	20	30	40	15	105	Junio, Ago.	Región Árida
	25	35	50	20	130	Nov.; Feb	Región Árida
Calabaza de invierno	20	30	30	20	100	Mar.; Ago.	Mediterráneo
	25	35	35	25	120	Junio	Europa
Calabacín (zucchini)	25	35	25	15	100	Abr.; Dic	Medit., Reg. Árida
	20	30	25	15	90	May/Junio	Medit., Europa

* Las duraciones de las etapas de crecimiento presentadas en este Cuadro son indicativas de condiciones generales, pudiendo variar significativamente de región a región, con las condiciones climáticas y de cultivo, y con la variedad del cultivo. Se recomienda al usuario obtener información local apropiada.

¹ Las crucíferas incluyen repollo, coliflor, brócoli y col de Bruselas. El amplio rango de duraciones de la temporada productiva es debido a diferencias en variedades y especies.

Fuente: FAO (2006)



Continuación Tabla (Hoja 6)

Cultivo	Inic. (L _{ini})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
Melón Dulce	25	35	40	20	120	Mayo	Mediterráneo
	30	30	50	30	140	Marzo	Calif., EU
	15	40	65	15	135	Ago	Calif., Desierto, EU
	30	45	65	20	160	Dic/Ene	Región Árida
Sandía	20	30	30	30	110	Abril	Italia
	10	20	20	30	80	May/Ago.	Cercano Este (desierto)
d. Raíces y Tubérculos							
Remolacha, mesa	15	25	20	10	70	Abr/Mayo	Mediterráneo
	25	30	25	10	90	Feb/Mar	Mediterráneo & Árido
Mandioca o Yuca							
año 1	20	40	90	60	210	Período Lluvioso	Regiones Tropicales
año 2	150	40	110	60	360		
Patata o Papa	25	30	30/45	30	115/130	Ene/Nov.	Clima (Semi) Árido
	25	30	45	30	130	Mayo	Clima Continental
	30	35	50	30	145	Abril	Europa
	45	30	70	20	165	Abr/Mayo	Idaho, EU
	30	35	50	25	140	Dic.	Calif., Desierto, EU
Camote o Batata	20	30	60	40	150	Abril	Mediterráneo
	15	30	50	30	125	Período Lluvioso	Regiones Tropicales
	30	45	90	15	180	Marzo	Calif., EU
Remolacha azucarera	25	30	90	10	155	Junio	Calif., EU
	25	65	100	65	255	Sept.	Calif., Desierto, EU
	50	40	50	40	180	Abril	Idaho, EU
	25	35	50	50	160	Mayo	Mediterráneo
	45	75	80	30	230	Noviembre	Mediterráneo
	35	60	70	40	205	Noviembre	Regiones Áridas
e. Leguminosas (Leguminosae)							
Judías, o Frijoles (verdes)	20	30	30	10	90	Feb/Mar.	Calif., Mediterráneo
	15	25	25	10	75	Ago/Sep.	Calif., Egipto, Líbano
Judías o Frijoles (secos)	20	30	40	20	110	May/Junio	Climas Continentales
	15	25	35	20	95	Junio	Pakistán, Calif.
	25	25	30	20	100	Junio	Idaho, EU
Habas	15	25	35	15	90	Mayo	Europa
secas	20	30	35	15	100	Mar/Abr	Mediterráneo
verdes	90	45	40	60	235	Nov.	Europa
	90	45	40	0	175	Nov.	Europa
Caupís (cowpeas)	20	30	30	20	100	Marzo	Mediterráneo
Cacahuete o Maní	25	35	45	25	130	Período Seco	Oeste de África
	35	35	35	35	140	Mayo	Latitudes Altas
	35	45	35	25	140	May/Junio	Mediterráneo
Lentejas	20	30	60	40	150	Abril	Europa
	25	35	70	40	170	Oct/Nov.	Región Árida
Guisantes o arveja	15	25	35	15	90	Mayo	Europa
	20	30	35	15	100	Mar/Abr.	Mediterráneo
	35	25	30	20	110	Abril	Idaho, EU
Soya o soja	15	15	40	15	85	Dic.	Trópicos
	20	30/35	60	25	140	Mayo	Centro de EU
	20	25	75	30	150	Junio	Japón



¿Cómo regar en Manabí?

Una guía para los gestores de riego y agricultores a pequeña escala

Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fin})	Total	Fecha de Siembra	Región
f. Hortalizas perennes (con letargo invernal y suelo inicialmente desnudo o con mantillo)							
Alcachofa	40	40	250	30	360	Abr. (1 ^{er} año)	California
	20	25	250	30	325	May. (2 ^{do} año)	(cortada en Mayo)
Espárragos	50	30	100	50	230	Feb.	Invierno cálido
	90	30	200	45	365	Feb.	Mediterráneo
g. Cultivos Textiles							
Algodón	30	50	60	55	195	Mar.-May	Egipto, Pakistán, Cal.
	45	90	45	45	225	Marzo	Calif. Desierto, EU
	30	50	60	55	195	Sept.	Yemen
	30	50	55	45	180	Abril	Texas
Lino	25	35	50	40	150	Abril	Europa
	30	40	100	50	220	Octubre	Arizona
h. Cultivos oleaginosos							
Ricino	25	40	65	50	180	Marzo	Climas (sem) Áridos
	20	40	50	25	135	Nov.	Indonesia
Cártamo	20	35	45	25	125	Abril	California, EU
	25	35	55	30	145	Marzo	Latitudes Altas
	35	55	60	40	190	Oct./Nov.	Región Árida
Sésamo	20	30	40	20	110	Junio	China
Girasol	25	35	45	25	130	Abril/Mayo	Madit., California
i. Cereales							
Cebada/Avena/Trigo	15	25	50	30	120	Noviembre	India Central
	20	25	60	30	135	Marzo/Abril	35-45 °L
	15	30	65	40	150	Julio	Este de África
	40	30	40	20	130	Abril	
	40	60	60	40	200	Noviembre	
	20	50	60	30	160	Diciembre	
Trigo de invierno	20 ²	60 ²	70	30	180	Diciembre	Calif., EU
	30	140	40	30	240	Noviembre	Mediterráneo
	160	75	75	25	335	Octubre	Idaho, EU
Granos (pequeños)	20	30	60	40	150	Abril	Mediterráneo
	25	35	65	40	165	Oct./Nov.	Pakistán, Reg. Árida
Maíz (grano)	30	50	60	40	180	Abril	Este de África (alt.)
	25	40	45	30	140	Dic./Ene.	Clima Árido
	20	35	40	30	125	Junio	Nigeria (húmedo)
	20	35	40	30	125	Octubre	India (seco, frío)
	30	40	50	30	150	Abril	España (prim, ver); Calif. EU
	30	40	50	50	170	Abril	Idaho, EU
Maíz (dulce)	20	20	30	10	80	Marzo/Abril	Filipinas
	20	25	25	10	80	May./Junio	Mediterráneo
	20	30	50/30	10	90	Oct./Dic.	Clima Árido
	30	30	30	10 ³	110	Abril	Idaho, EU
	20	40	70	10	140	Ene.	Calif. Desierto, EU
Mijo	15	25	40	25	105	Junio	Pakistán
	20	30	55	35	140	Abril	Centro EU

² Estos períodos para el trigo de invierno se incrementarán en climas de nieve y heladas de acuerdo a los días de crecimiento potencial nulo y letargo del trigo. Bajo condiciones generales y cuando no se disponga de información local, la siembra del trigo de invierno en otoño puede suponerse que ocurre, en climas templados del norte, cuando el promedio de la temperatura media diaria del aire durante un período de 10 días consecutivos sea igual o inferior a los 17 °C, o en Diciembre 1, cualquiera que se produzca primero. Se puede suponer que la siembra del trigo de primavera ocurre cuando el promedio de la temperatura media diaria del aire durante un período de 10 días consecutivos sea igual o superior a los 5 °C. Se puede asumir que la siembra del maíz-grano en primavera ocurre cuando el promedio de la temperatura media diaria del aire durante un período de 10 días consecutivos sea igual o superior a 13 °C.

³ La etapa final del maíz dulce será alrededor de 35 días si el maíz se deja madurar y secar



Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fn})	Total	Fecha de Siembra	Región
Sorgo	20	35	40	30	125	Mayo/Jun.	EU, Pakistán., Mad.
	20	35	45	30	130	Mar/Abril	Región Árida
Arroz	30	30	60	30	150	Dic., Mayo	Trópicos, Mediterráneo
	30	30	80	40	180	Mayo	Trópicos
j. Forrajes							
Alfalfa, temporada completa ⁴	10	30	varia	varia	varia		último -4°C (primavera) hasta primer -4°C (otoño)
Alfalfa ⁴ 1er ciclo de corte	10	20	20	10	60	Enero	Calif., EU.
	10	30	25	10	75	Abril (último -4°C)	Idaho, EU.
Alfalfa ⁴ otros ciclos de corte	5	10	10	5	30	Marzo	Calif., EU.
	5	20	10	10	45	Junio	Idaho, EU.
Bermuda para semilla	10	25	35	35	105	Marzo	Calif. Desierto, EU
Bermuda, heno (distintos cortes)	10	15	75	35	135	---	Calif. Desierto, EU
Pastos, Gramas ⁵	10	20	---	---	---		7 días antes del último -4°C (primavera hasta 7 días después del primer -4°C (otoño))
Pasto del Sudán, 1er corte	25	25	15	10	75	Abril	Calif. Desierto, EU
Sudán, otros ciclos de corte	3	15	12	7	37	Junio	Calif. Desierto, EU
k. Caña de Azúcar							
Caña de Azúcar, virgen	35	60	190	120	405		Latitudes Bajas
	50	70	220	140	480		Trópicos
	75	105	330	210	720		Hawai, EU
Caña de Azúcar, soca	25	70	135	50	280		Latitudes Bajas
	30	50	180	60	320		Trópicos
	35	105	210	70	420		Hawai, EU
l. Frutas Tropicales y Árboles							
Banana, 1 ^{er} año	120	90	120	60	390	Marzo	Mediterráneo
Banana, 2 ^{do} año	120	60	180	5	365	Feb.	Mediterráneo
Piña	60	120	600	10	790		Hawai, EU
m. Uvas y Moras							
Uvas	20	40	120	60	240	Abril	Latitudes Bajas
	20	50	75	60	205	Marzo	Calif., EU
	20	50	90	20	180	Mayo	Latitudes Altas
	30	60	40	80	210	Abril	Latitudes Medias (vino)
Lúpulo	25	40	80	10	155		Idaho, EU
n. Árboles Frutales							
Cítricos	60	90	120	95	365	Ene.	Mediterráneo
Huerto de árboles caducifolios	20	70	90	30	210	Marzo	Latitudes Altas
	20	70	120	60	270	Marzo	Latitudes Bajas
	30	50	130	30	240	Marzo	Calif., EU

⁴ En climas donde ocurre la muerte del cultivo por heladas, las temporadas productivas de la alfalfa y el pasto pueden ser estimadas como: alfalfa: último día con -4°C en primavera hasta primer día con -4°C en otoño (Everson, D.O., M. Faubion y D.E. Amos 1978. «Freezing temperatures and growing seasons in Idaho.» Univ. Idaho Agric. Exp. Station bulletin 494. 18 p.) pasto: 7 días antes del último día con -4°C en primavera y 7 días después del último día con -4°C en otoño (Kruse E.G. y Haise, H.R. 1974. «Water use by native grasses in high altitude Colorado meadows.» USDA Agric. Res. Service, Western Region report ARS-W-6-1974. 60 páginas)

Cultivo	Inic. (L _{in})	Des. (L _{des})	Med (L _{med})	Final (L _{fn})	Total	Fecha de Siembra	Región
Olivos	20	90	60	90	270 ⁵	Marzo	Mediterráneo
Pistachos	20	60	30	40	150	Feb.	Mediterráneo
Nogal (nueces)	20	10	130	30	190	Abril	Utah, EU
o. Humedales - Climas Templados							
Humedales	10	30	80	20	140	Mayo	Utah, EU, heladas
(Anea, Junco)	180	60	90	35	365	Noviembre	Florida, EU
Humedales (veg. baja)	180	60	90	35	365	Noviembre	Clima sin heladas

⁵ Los árboles de olivo obtienen hojas nuevas en Marzo. Vea nota de pie de página 24 del Cuadro 12 para información adicional, donde el Kc continúa fuera del «período de crecimiento»
Fuente principal: Publicación de Riego y Drenaje FAO 24 (Doorenbos y Pruitt, 1977), Cuadro 22

De acuerdo con el enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ETc se calcula para cada período de desarrollo como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ETo y el coeficiente del cultivo Kc:

$$ETc = Kc \times ETo$$

donde:

ETc: evapotranspiración del cultivo [mm/d],

Kc: coeficiente del cultivo [adimensional],

ETo: evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/d].

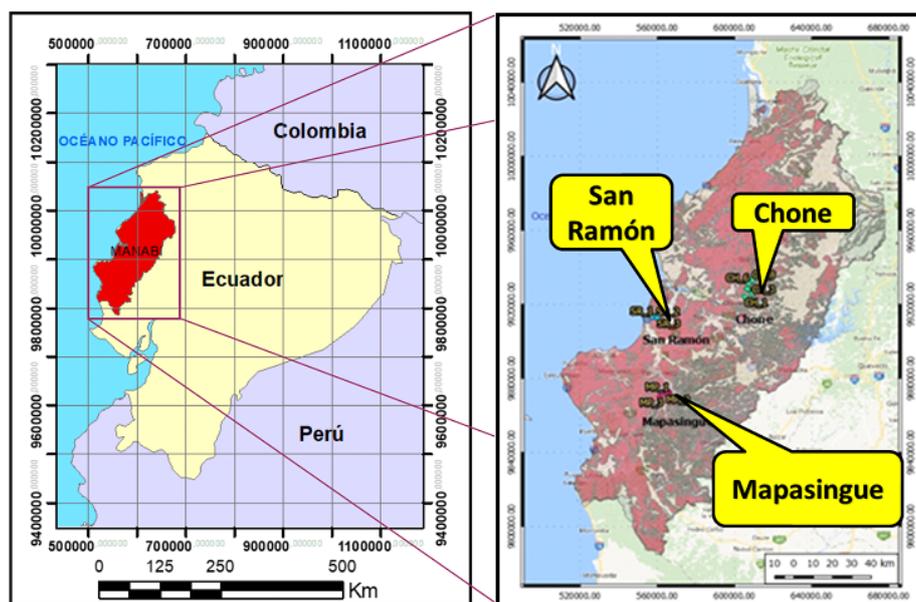


4.4. Estudio del Régimen de Riego de cinco Cultivos Permanentes en diferentes escenarios en Manabí

Para el desarrollo de este estudio se seleccionaron tres zonas de interés agroproductivo en la provincia Manabí: Zona norte del cantón Chone, San Ramón en el cantón Sucre y Mapasingue en el cantón Portoviejo (figura 4.3).

Figura 4.3

Ubicación de las tres zonas de estudio en la provincia de Manabí



Definición de las características del Clima y del Suelo

Este trabajo se basa en los estudios de clima y de suelos desarrollados por Pérez y cols. (2018a y 2018b), en las zonas definidas en la figura 4.3. Para el balance hídrico se tomaron los valores de Eto calculados por el método de Hargreaves-Samani debido a las consideraciones de Figueredo y cols. (2016) y confirmado por Pérez y cols. (2018a), quienes obtuvieron resultados más confiables ante la ausencia de datos en Manabí, Ecuador, para aplicar el Método de método de Penman-Monteith, considerado por Sousa y cols. (2016).

Definición de las características de los cultivos para el Régimen de Riego

En este estudio se consideraron cinco cultivos permanentes de interés económico en la Provincia: Naranja (*Citrus Sinensis*), Cacao (*Theobroma cacao*), Plátano (*Musa paradisiaca*), Papaya (*Carica papaya*) y Maracuyá (*Passiflora edulis*).

Los datos de profundidad de las raíces (H), coeficientes del cultivo (Kc) para el cálculo de la Evapotranspiración (Etc) por cada fase de desarrollo y ciclo de vida de cada cultivo, se muestran en la Tabla 4-3 a partir de las consideraciones de diferentes autores. Se incluye



además la Fracción de Agotamiento de Humedad en el suelo sin provocar estrés hídrico (**p**), definido por Allen y cols. (2006).

Tabla 4.3

Valores de Coeficiente de Cultivo (*Kc*) y de Profundidad a humedecer (*H*) por etapas de desarrollo para cada cultivo según recomendaciones de diferentes autores

Cultivo	Fases de Desarrollo					p	Fuente
	Días	60	90	120	95		
Naranja	Días	60	90	120	95	50 %	Allen y cols. (2006) Calderón (2014)
	Kc	0.70	0.70	0.65	0.70		
	Días	365					
	H (m)	0.80					
Cacao	Días	365				30 %	Allen y cols. (2006)
	Kc	0.90					
	Días	365					
	H (m)	0.70					
Plátano	Días	120		75	45	35 %	Allen y cols. (2006) Toro y cols. (2016)
	Kc	1.0		1.2	1.1		
	Días	240					
	H (m)	0.60					
Papaya	Días	60	90	60	155	35 %	Allen y cols. (2006) Chaterlán y cols. (2012)
	Kc	0.90	1.00	1.10	0.90		
	Días	365					
	H (m)	0.60					
Mara-cuyá	Días	60	210		95	50 %	Allen y cols. (2006) Vinuesa (2009) Calderón (2014)
	Kc	0.70	0.65		0.70		
	Días	365					
	H (m)	0.60					



Para el cálculo del Régimen de Riego de Proyecto de cada cultivo se analizaron cuatro escenarios a partir de los resultados obtenidos por Pérez y cols. (2018b):

Chone con suelo de textura fina (CH-TF)	Mapasingue con suelo de textura media (MP-TM)
Chone con suelo de textura media (CH-TM)	San Ramón con suelo de textura media (SR-TM)

El riego en cada escenario fue analizado a su vez para tres valores de **p** (El mínimo recomendado para cada cultivo, una reducción del 25% de este valor a partir de considerar las condiciones atmosféricas cálidas y secas de Manabí, ambos valores según recomendaciones de Allen y cols. (2006), y un valor fijo de $p= 15\%$ para todos los cultivos). Esto generó un total de 60 variantes de riego (cinco cultivos x cuatro escenarios x tres fracciones de agotamiento de humedad).

Para el cálculo de Régimen de Riego de Proyecto se siguió el procedimiento descrito en la NC 48-46, citado por Duarte y cols. (2015).

Una vez definido el Régimen de Riego de Proyecto se procedió a determinar la Evapotranspiración máxima de cada cultivo y el caudal ficticio o dotación. Estos elementos constituyen la base para el diseño hidráulico de sistemas de riego presurizados (sistema de riego localizado o sistema de riego por aspersión).

- La Evapotranspiración Crítica del Cultivo: se obtuvo al dividir la evapotranspiración del mes con mayor consumo (mes crítico) por la cantidad de días del mes.
- Dotación o caudal ficticio: obtenido para la condición crítica por la siguiente expresión:

$$q = \frac{Dn}{3.6 \cdot Pr \cdot h}$$

donde: q: Caudal neto ficticio, hidromódulo o dotación (l/s/ha)

Dn: Dosis parcial neta de riego (m³/ha)

Pr: Período de riego (días) (se debe considerar una duración inferior al intervalo de riego crítico).

h: Duración de la jornada de riego (h). (Se consideró una jornada de 8 horas diarias)

Luego de haber realizado los cálculos de requerimientos hídricos correspondientes a cada cultivo en los cuatro escenarios se obtuvo el resultado que se resume en la tabla 4.4 para el Cultivo de la Naranja.



Tabla 4.4

Resumen del Régimen de Riego Anual de la Naranja en cuatro escenarios, expresado a partir de la Evapotranspiración, Lluvia Aprovechable, Dosis Total y Cantidad de Riegos.

Cultivo	Escenario	Etc (mm)	Lluvia Aprovechable (mm)	Dosis Total de Riego según p* (mm)			Cantidad de Riegos según p*		
				50 %	37 %	15 %	50 %	37 %	15 %
Naranja	CH-TF	901.3	426.0	349.0	387.6	471.7	2	3	9
	CH-TM	901.3	424.2	498.1	491.3	498.4	3	4	10
	MP-TM	990.2	355.2	601.7	556.6	676.9	4	5	15
	SR-TM	990.2	254.3	622.4	691.2	747.3	4	6	16

* Se define un valor extremo de p= 50 % según consideraciones de Allen y cols. (2006).

Como se puede observar, existe una tendencia al incremento de las dosis y el número de riegos en la medida que el valor de p se reduce. Se evidencia un mayor requerimiento de riegos en la zona de San Ramón (SR) debido a las condiciones de evapotranspiración y lluvia aprovechable existentes. Las dosis anuales para aplicar al cultivo de la naranja oscilan entre 349 mm y 743 mm. Estos resultados son inferiores a los 800 mm anuales obtenidos por CEBAS-CSIC (2014), al sur de España en un clima árido con precipitaciones inferiores a 300 mm al año. También son inferiores a los reportados por Santos y cols (2018), que se encuentran entre 1270 mm y 1306 mm al año. Sin embargo, coincide con los valores reportados por Wiegand y Swanson (citados por Levy y Boman, 2003), quienes obtuvieron dosis anuales de riego en cítricos de 220 mm a 680 mm para complementar 700 mm de lluvia anual en Texas.

El régimen de riego anual para el cultivo del cacao resumido en la tabla 4.5 muestra valores de riegos de 641 mm a 1062.2 mm al año. Se confirma la zona de Chone con menores requerimientos hídricos y la cantidad de riego durante el año varía entre 7 y 26 en función de la fracción de agotamiento de humedad (p) con que se decida manejar el régimen de riego.

Tabla 4.5

Resumen del Régimen de Riego Anual del Cacao en cuatro escenarios, expresado a partir de la Evapotranspiración, Lluvia Aprovechable, Dosis Total y Cantidad de Riegos

Cul-tivo	Esce-nario	Etc (mm)	Lluvia Aprove-chable (mm)	Dosis Total de Rie-go según p* (mm)			Cantidad de Riegos según p*		
				30 %	22 %	15 %	30 %	22 %	15 %
Ca-cao	CH-TF	1185.9	513.4	641.7	671.8	686.6	7	10	15
	CH-TM	1185.9	511.9	697.0	639.3	696.5	8	10	16
	MP-TM	1304.0	355.2	948.1	984.5	948.3	12	17	24
	SR-TM	1304.0	254.3	1062.2	1018.5	1061.1	13	17	26

* Se define un valor extremo de p= 30 % según consideraciones de Allen y cols. (2006).

Los resultados son muy similares a los recomendados por Rodríguez y cols. (2010), para Manabí con valores de 500 a 1200 mm al año. También hay similitud con los resultados obtenidos por Romero y Proaño (2008), en su estudio desarrollado en la península de Santa Elena en Ecuador. En dicho trabajo se obtuvieron dosis de riego anuales para el cacao entre 1023.93 y 1535.9 mm para diferentes condiciones de manejo por goteo.

No obstante, varios autores, como Motato y Pincay (2015), insisten en atender con mayor interés la calidad y no la cantidad de las aguas para el riego de este cultivo debido a los problemas de salinidad detectados en las aguas subterráneas en Manabí.

Para el cultivo del plátano se obtuvieron cifras de mayor magnitud, como se muestra en la tabla 4.6.

Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Caicedo y cols. (2015), en sus programaciones realizadas mediante el programa CROPWAT para el riego del plátano en Babahoyo, Ecuador. Los autores obtuvieron valores de Etc entre 990.5 mm y 1340.7 mm anuales. Aunque la cantidad de riegos anuales estuvo entre 20 y 23, la lámina total a aplicar fue ligeramente inferior debido a que las condiciones de lluvia de Babahoyo son menos áridas que las de Manabí.



Tabla 4.6

Resumen del Régimen de Riego Anual del Plátano en cuatro escenarios, expresado a partir de la Evapotranspiración, Lluvia Aprovechable, Dosis Total y Cantidad de Riegos

Cultivo	Esce- nario	Etc (mm)	Lluvia Aprove- chable (mm)	Dosis Total de Rie- go según p* (mm)			Cantidad de Riegos según p*		
				35 %	26 %	15 %	35 %	26 %	15 %
Plá- tano	CH-TF	1435.5	555.0	824.7	884.5	902.4	9	13	23
	CH-TM	1435.5	553.7	871.3	906.2	895.8	10	14	24
	MP-TM	1581.8	337.7	1263.9	1232.6	1254.1	16	21	37
	SR-TM	1581.8	254.3	1306.8	1334.9	1329.2	16	22	38

* Se define un valor extremo de p= 35 % según consideraciones de Allen y cols. (2006).

Los valores de Etc anuales también coinciden con los reportados por Toro y cols. (2016), mediante simulaciones efectuadas con el programa CROPWAT en Urabá, Colombia. Estos valores oscilaron entre 1188 mm y 1315 mm anuales.

El resumen del régimen de riego para el cultivo de la papaya se presenta en la tabla 4.7.

Tabla 4.7

Resumen del Régimen de Riego Anual de la Papaya en cuatro escenarios, expresado a partir de la Evapotranspiración, Lluvia Aprovechable, Dosis Total y Cantidad de Riegos

Cultivo	Esce- nario	Etc (mm)	Lluvia Aprove- chable (mm)	Dosis Total de Rie- go según p* (mm)			Cantidad de Riegos según p*		
				35 %	26 %	15 %	35 %	26 %	15 %
Papaya	CH-TF	1263.1	534.0	733.1	748.4	745.5	8	11	19
	CH-TM	1263.1	532.7	697.0	712.0	746.5	8	11	20
	MP-TM	1388.9	355.2	1026.9	1056.5	1084.6	13	18	32
	SR-TM	1388.9	254.3	1143.5	1152.9	1154.3	14	19	33

* Se define un valor extremo de p= 35 % según consideraciones de Allen y cols. (2006).

Bogantes y cols. (2011), consideran consumos de agua anuales para este cultivo entre 1200 mm y 1800 mm, muy similar a la Etc que se ha obtenido en el presente estudio (entre 1263.1 y 1388.9 mm). Sin embargo, Chaterlán y cols. (2012), obtuvieron valores inferiores de Etc (931 mm) para la papaya en el sur de La Habana en Cuba bajo condiciones de precipitación superiores para un valor de p del 40%.



Un resultado más afín lo reportaron Mellado y cols. (2005), en Michoacán, México. Los autores desarrollaron un estudio con el objetivo de evaluar la respuesta del papayo, variedad Maradol, en términos de rendimiento, eficiencia de uso del agua y productividad económica, a los sistemas de riego por goteo y fertilización. Para condiciones de precipitación de 569 mm anuales (muy similares a las de Manabí) obtuvieron láminas de riego anuales entre 1050 mm y 1385 mm.

El cultivo del Maracuyá demandó un régimen de riego en los diferentes escenarios que se resume en la tabla 4.8.

Tabla 4.8

Resumen del Régimen de Riego Anual del Maracuyá en cuatro escenarios, expresado a partir de la Evapotranspiración, Lluvia Aprovechable, Dosis Total y Cantidad de Riegos

Cultivo	Escenario	Etc (mm)	Lluvia Aprovechable (mm)	Dosis Total de Riego según p* (mm)			Cantidad de Riegos según p*		
				50 %	37 %	15 %	50 %	37 %	15 %
Maracuyá	CH-TF	883.0	404.8	392.8	484.2	470.8	3	5	12
	CH-TM	883.0	403.5	498.0	460.5	484.9	4	5	13
	MP-TM	970.9	349.4	564.5	584.5	677.9	5	7	20
	SR-TM	970.9	254.3	700.7	691.0	734.5	6	8	21

* Se define un valor extremo de p= 50 % según consideraciones de Allen y cols. (2006).

Los consumos obtenidos para este cultivo son muy cercanos a los reportados por Guzmán (citado por Guerra y cols., 2013), entre 650 mm y 950 mm anuales. Sin embargo, son inferiores a los obtenidos por estos últimos autores en sus estudios que abarcan magnitudes entre 1351.1 mm y 2303.7 mm anuales.

También en Perú (Chacón, 2016), en un estudio que registró los consumos del maracuyá durante 5 años consecutivos en "La Libertad", Perú obtuvo valores que fluctuaron entre 601.5 mm y 977.5 mm al año. Estos valores son muy cercanos a los obtenidos de Etc en los cuatro escenarios analizados en este estudio. También Araújo y cols. (2006), obtuvieron consumos del Maracuyá en Piracicaba, Brasil de 781.01 mm en un período de 350 días.

Elementos básicos para el diseño y la operación de los sistemas de riego

Los resultados del cálculo de la Evapotranspiración máxima (Etm) que se obtuvieron para cada cultivo en las diferentes condiciones, así como el mayor caudal ficticio se resumen en la tabla 4.9.



Los valores de Etm de la naranja coinciden con los reportes de Toledo y cols. (citados por Levy y Boman, 2003), quienes definen un intervalo de 2 a 3 mm/día en las condiciones de Cuba. Sin embargo, son considerablemente inferiores a los 4.5 mm/día, reportados por Shalhevet y cols. (citados por Levy y Boman, 2003), para las condiciones de Israel.

Tabla 4.9

Valores de evapotranspiración máxima (Etm) y caudal ficticio (q) que se obtuvieron para cada cultivo en las diferentes condiciones edafoclimáticas

Cultivo	CH-TF		CH-TM		MP-TM		SR-TM	
	Etm (mm)	q (l/s/ha)						
Naranja	2.8	0.45	2.8	0.47	3.1	0.64	3.1	0.71
Cacao	3.7	0.65	3.7	0.96	4.0	0.94	4.0	1.01
Plátano	4.5	0.84	4.5	0.86	4.7	1.20	4.7	1.27
Papaya	4.1	0.71	4.1	0.71	4.4	1.03	4.4	1.10
Maracuyá	2.6	0.46	2.6	0.47	2.8	0.64	2.8	0.70

Un aspecto importante para tener en cuenta al analizar los consumos de agua y necesidades de riego en estos cultivos permanentes, adicional a las condiciones climáticas específicas de cada región, es la densidad de plantación. Se ha podido constatar que los marcos de plantación de estos cultivos no son idénticos en todas las investigaciones sobre riego que se han consultado, lo cual influye directamente sobre la magnitud de la extracción de la humedad disponible que hacen las plantas en el suelo.

Vale aclarar que, en todos los casos, los valores de caudal ficticio neto para diseñar un sistema de riego en cada cultivo deberán ser incrementados en función de la eficiencia que se estime, de acuerdo con la técnica de riego a emplear. Resulta evidente para todos los cultivos que las condiciones edafoclimáticas de Chone son más favorables para los cultivos en comparación con San Ramón y Mapasingue.

Conclusiones del estudio de Régimen de Riego para los cinco cultivos permanentes en Manabí (Pérez y Domínguez, 2019)

- En este estudio se analizaron 12 escenarios de manejo de riego para los cultivos Naranja, Cacao, Plátano, Papaya y Maracuyá en Ecuador (60 variantes en total), lo cual permitió definir sus requerimientos hídricos en función de la zona edafoclimática en que se encuentren y de la Fracción de Agotamiento de Humedad en el suelo que se defina para el manejo de riego sin provocar estrés

en la planta.

- La posibilidad de definir el Régimen de Riego de los cultivos permanentes a partir de análisis estadísticos de las variables climáticas propias de la región y la determinación "in situ" de las propiedades hidrofísicas de los suelos, les transfiere a los resultados de este estudio un margen de confiabilidad superior al de estudios desarrollados sobre otros datos.
- Los cultivos con mayor demanda de riego fueron el plátano, la papaya y el cacao con dosis anuales que varían de 641.7 mm a 1329.2 mm en función del nivel de agotamiento definido para el manejo de riego.
- Las condiciones edafoclimáticas de Chone resultan más favorables para el desarrollo de los cultivos en contraste con la zona de San Ramón donde se demandan las mayores dosis de riego.
- La definición de la demanda hídrica y el régimen de riego para diferentes condiciones de manejo en los cultivos estudiados sirve de base para el diseño de nuevos sistemas de riego o para la programación de los ya existentes en la provincia, por lo que su aplicabilidad puede ser de carácter inmediato.
- Los valores de caudal ficticio neto obtenidos para cada cultivo sirven de referencia para diseñar un sistema de riego y el equipo de bombeo necesario en función de la magnitud del área a regar. Estos valores deberán ser incrementados en función de la eficiencia de la técnica de riego a emplear.



Capítulo 5

Los Métodos y las Técnicas de Riego

5.1. Definición de los Métodos y Técnicas de Riego

Se puede definir como Método de Riego al conjunto de técnicas y procedimientos empleados para entregar el agua al suelo y convertir esta última en una reserva de humedad para las plantas. Se reconocen tres métodos de riego básicos que son el riego superficial (el agua se entrega directamente sobre la superficie del suelo por acción de la gravedad), el riego por aspersión (entrega el agua por sistemas presurizados en forma de lluvia) y el riego localizado (entrega el agua en una zona muy restringida de las raíces de las plantas). Adicional a estos tres métodos, algunos autores identifican como un método diferente al riego subterráneo, el cual consiste en entregar el agua al suelo por medio de tuberías colocadas debajo de las plantas o mediante el control de los niveles freáticos con el objetivo de mantener la humedad aprovechable por los cultivos.

Cada método puede valerse de diferentes técnicas para entregar el agua, las cuales están relacionadas con el tipo de equipamiento, infraestructura y procedimientos empleados.

En este capítulo se abordan los aspectos relacionados con cada método de riego, sus ventajas e inconvenientes, las técnicas de riego y los criterios fundamentales para seleccionar el método de riego óptimo en función de las características específicas relacionadas con la parcela de riego y el contexto en que está ubicada.

5.2. Método de Riego Superficial

Se define como método de riego superficial a aquel que entrega el agua directamente sobre la superficie del suelo. Su movimiento se realiza por la acción de la gravedad y requiere de la existencia de cierta pendiente en el terreno.

Por la forma en que se distribuye el agua se puede categorizar en dos grupos:

- Técnicas en las cuales el agua cubre la superficie y se infiltra verticalmente (inundación, terrazas y bandas).
- Técnicas en las cuales el agua se infiltra lateralmente y escurre en una dirección lineal (surcos abiertos y cerrados).

Este método es el más antiguo de todos según las evidencias encontradas las cuales reflejan su empleo desde hace más de 5000 años.

Las técnicas de riego asociadas a este método se pueden definir de la siguiente forma:

- Técnica de riego por inundación: es la forma más común de riego superficial.



Consiste en un campo nivelado en todas las direcciones y está rodeado por un dique perimetral para evitar la escorrentía. El suministro de agua se realiza por uno o varios puntos de entrega desde la zona más alta. La forma más común de terraza inundada suele ser cuadrada o rectangular, aunque existen en todo tipo de configuraciones irregulares.

- Técnica de riego por bandas: puede verse como una versión del riego por inundación en franjas, rectangulares largas o contorneadas, con condiciones de drenaje libre en el extremo inferior. El agua se aplica a las bandas individuales a partir de pequeños cortes excavados a mano en la zanja principal del campo. Cuando la entrada del agua se cierra la misma continúa avanzando desde el extremo superior al extremo inferior. El riego por bandas es adecuado para casi cualquier cultivo, excepto aquellos que requieren una inundación prolongada. Los suelos que tienen tasas de consumo de moderadamente bajas a moderadamente altas se pueden regar de manera eficiente con esta técnica. La precisión de la topografía del campo para lograr eficiencias aceptables constituye un factor importante en esta técnica al igual que en el riego por inundación.
- Técnica de riego por surcos: el riego por surcos evita inundar toda la superficie del campo al canalizar el flujo a lo largo de la dirección principal del campo usando zanjas. El agua se infiltra a través del perímetro mojado y se distribuye vertical y horizontalmente para humedecer el suelo. La característica distintiva del riego por surcos es que el flujo en cada surco se establece y controla de forma independiente, a diferencia de la inundación y las bandas, donde el flujo se establece y controla por cada terraza o banda. La descarga de agua por unidad de ancho del campo se reduce sustancialmente con respecto a las técnicas anteriores y permite variaciones topográficas más severas. Con la reducción del área mojada se reducen también las pérdidas por evaporación. Los surcos brindan al regante más oportunidades para administrar los riegos hacia una mayor eficiencia a medida que cambian las condiciones del campo para cada riego a lo largo de una temporada. Sin embargo, esto no quiere decir que el riego por surcos disfrute de mayores eficiencias de aplicación que las terrazas o las bandas. Dentro de esta técnica de riego también existen diferentes alternativas como son:
 - Surcos rectos
 - Surcos siguiendo las curvas de nivel
 - Surcos abiertos al final
 - Surcos cerrados al final
 - Entrega por corte en dique desde canal terciario



- Entrega por sifones desde canal terciario
- Entrega por tuberías o mangas perforadas
- Entrega con gasto constante
- Entrega con gasto reducido

Otra de las técnicas desarrolladas con el objetivo de incrementar la eficiencia del riego superficial es el “Riego por Pulsos” (surge flow). El riego por pulsos consiste en fraccionar la dosis de riego en varias aplicaciones que se realizan de manera discontinua con el objetivo de reducir las pérdidas por filtración y por escurrimiento. Su aplicabilidad puede ser extensiva al riego por inundación, por bandas o por surcos y puede estar sujeta o no a ciertos niveles de automatización en la entrega del agua mediante el uso de válvulas programables u mangas con orificios para entrega en ruta (figura 5.1).

Figura 5.1

Válvula programable (A) y manga perforada (B) para riego por pulsos en surcos



Fuente: A <https://pyrargentina.com.ar/portfolio/evaluacion-de-los-sistemas-de-riego-por-superficie-tecnica-de-caudal-discontinuo/>

Fuente: B https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_superficial.pdf

A pesar de que esta técnica no es conocida ni empleada por los agricultores en Manabí, su empleo pudiera ser de gran impacto al permitir eficiencias del uso del agua muy superiores en la Parcela y con ello poder regar mayores extensiones cultivadas con un mismo volumen de agua.

5.2.1. Componentes de un Sistema de Riego Superficial

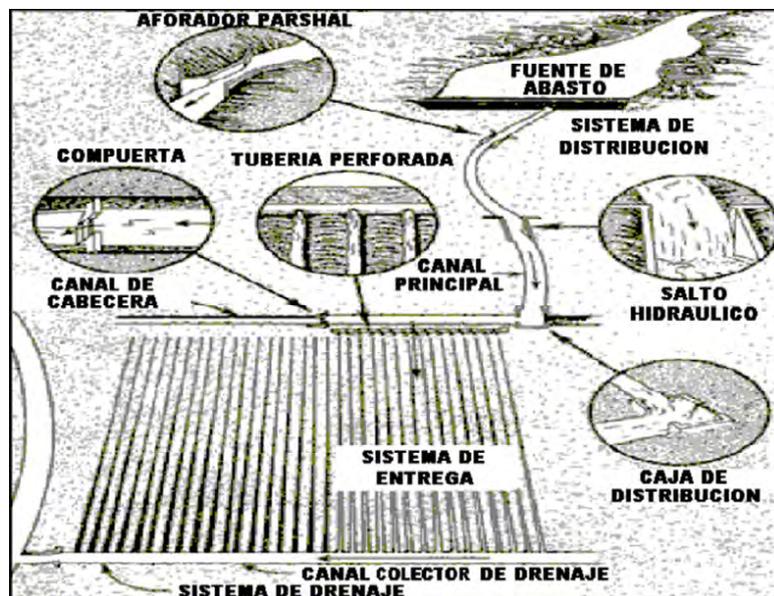
Los sistemas de riego superficial pueden tener varios componentes en función de su magnitud. Algunos sistemas a nivel parcelario pueden prescindir de algunos de los componentes que se muestran en la figura 5.2 (Walker, 1989). No obstante, un sistema a gran escala pudiera contar con los siguientes componentes:



- Fuente de Abasto: puede ser superficial (embalse, río, lago, reservorio, etc) o subterránea (pozo).
- Red conductora: canal principal o magistral y canales secundarios (revestidos o en tierra) o tuberías. Si la red conductora transita por grandes distancias, puede tener en su trayecto obras de fábrica (sifones, alcantarillas, salto hidráulico, rápidas, etc)
- Sistema de medición: incluye obras para medir caudales (vertedores, aforadores, canaletas, etc).
- Sistema de distribución: son los canales terciarios o tuberías perforadas (o mangas) que entregan directamente a los surcos, bandas o terrazas según sea la técnica de entrega y las obras de fábrica con compuertas.
- Sistema de entrega: son las terrazas, bandas o surcos en cualquiera de sus modalidades que entregan el agua próxima a los cultivos para su consumo.
- Sistema de drenaje: es la red que se ubica en la parte baja de la parcela para recolectar los excesos de agua que escurren fuera de la parcela y los conduce a un destino final (cauce de un río, sistema de pozos de infiltración, el mar, etc).

Figura 5.2

Componentes de un Sistema de Riego Superficial



Fuente: Walker (1989)



5.2.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego Superficial

Ventajas

- Los costos de la inversión inicial son inferiores a los de otros métodos de riego.
- No requiere de una alta calificación de la fuerza laboral.
- No humedece la parte externa de la planta, lo cual permite mayor efectividad de tratamientos fitosanitarios.
- No es sensible a las afectaciones de la uniformidad por el viento.
- La altura del cultivo no influye en la operación del sistema.
- Se puede utilizar en la mayoría de los suelos y cultivos.
- No requiere de agua de una alta calidad para el riego.
- Permite el lavado de sales y mejora el drenaje del suelo.

Inconvenientes

- Son propensos a tener bajas eficiencias en el uso del agua en comparación con otros métodos de riego.
- Requiere de grandes trabajos de nivelación para obtener buenas eficiencias en el riego.
- Se requiere disponer de un volumen de agua elevado para el riego.
- Se pierde parte del área cultivable en el trazado de los canales.
- Requiere de altos costos de mantenimiento (incluye rectificación de surcos, canales, obras de fábrica y caminos).
- Requiere de una gran cantidad de pruebas de campo para un diseño confiable.
- Tiene limitaciones para su aplicación en suelos de textura muy arenosa o de topografía ondulada.

5.3. Riego por Aspersión

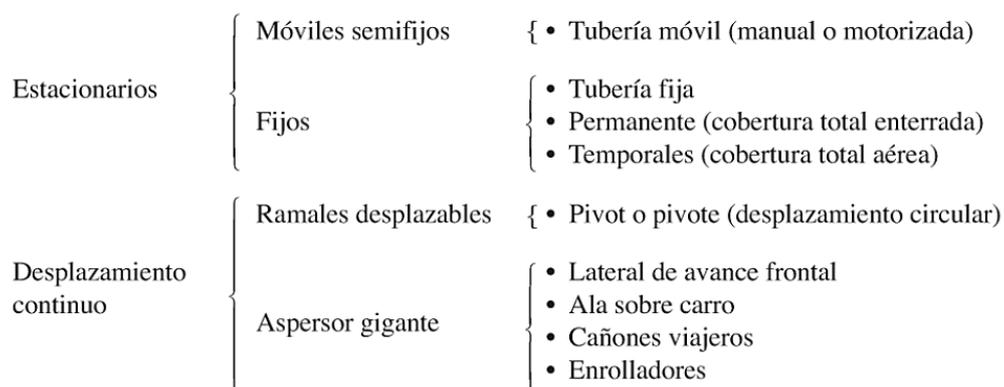
Se define como riego por aspersión al método que entrega el agua en forma de lluvia artificial para lo cual se requiere de determinada presión en una red de tuberías. La intensidad de la lluvia en estos sistemas debe estar en correspondencia con la velocidad de infiltración del suelo para evitar encharcamientos o escurrimiento superficial.

Las técnicas de riego por aspersión se pueden clasificar a partir de diferentes criterios. Tarjuelo (2005), recomendó una clasificación atendiendo a su movilidad que los agrupa en dos grandes familias (figura 5.3): los sistemas estacionarios, que son los que permanecen fijos mientras riegan, y los sistemas de desplazamiento continuo, que son los que se desplazan mientras entregan el agua.



Figura 5.3

Clasificación de los Sistemas de Riego por Aspersión atendiendo a su movilidad



Fuente: Tarjuelo (2005)

Dentro de la categoría de sistemas Estacionarios, los sistemas semifijos suelen tener fija la red de tuberías principales (comúnmente soterrada), y las tomas donde se conectan los ramales de riego donde se colocan los aspersores son móviles.

Los sistemas fijos permanentes mantienen todos sus elementos fijos durante la vida útil (implica que todas las tuberías deben estar enterradas). Este tipo de sistemas se puede ver en Manabí en áreas ganaderas que mantienen de manera permanente el riego de los pastos.

Los sistemas fijos temporales hay que montarlos al principio de la campaña de riego y retirarlos al final de esta, lo cual implica que los ramales y sus tuberías de alimentación tengan que estar en la superficie.

Aunque en un inicio estas tuberías eran de aluminio, ya en la actualidad se comercializan de manera generalizada en plástico (PEAD o PVC).

Para la elección del sistema pueden tenerse en cuenta las siguientes consideraciones según Tarjuelo (2005):

- La tendencia actual es hacia los sistemas de baja presión, que permitan el riego nocturno (por menor evaporación, velocidad de viento y coste energético), y sean de fácil manejo y automatización. En este sentido uno de los sistemas más interesantes son los pivot o pivotes.
- En parcelas pequeñas o de forma irregular se adaptan mejor los sistemas fijos.
- Los sistemas semifijos de tubería móvil se están utilizando cada vez menos, a pesar de ser los que requieren menor inversión, por las mayores necesidades de mano de obra, incomodidad de manejo etc., siendo más utilizados los de tubería fija.
- Los laterales de avance frontal son muy adecuados para parcelas rectangulares de gran longitud, consiguiendo una alta uniformidad de riego con baja presión, pero



requieren mayor inversión que los pivotes y tienen un manejo más complicado. Una variante que parece muy interesante son los laterales de tamaño medio (inferiores a 300-350 m) que pueden regar con movimiento frontal o en círculo, teniendo la ventaja de su gran movilidad y adecuación a parcelas con forma más o menos irregular.

- Las alas sobre carro son sistemas muy interesantes por su gran movilidad y adecuación a diferentes condiciones de parcelas y cultivos, permitiendo la utilización de la baja presión, por lo que están sustituyendo en buena medida a los cañones de riego, por sus problemas de elevada presión de trabajo, gran tamaño de gota, mayor distorsión por el viento, etc., que los hacen casi únicamente adecuados para «riegos de socorro», praderas, etc. No obstante, los cañones de riego requieren menor inversión que las alas sobre carro y son de más fácil manejo.

A pesar de estas consideraciones de carácter universal, para seleccionar un sistema de riego por aspersión es preciso considerar las condiciones específicas de Manabí donde predominan parcelas de pequeño tamaño, de forma irregular y topografía ondulada. También es preciso considerar que aún el mercado del riego no abarca una gama amplia de tecnologías como en otros países que hacen uso de sistemas de riego de desplazamiento continuo.

5.3.1. Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión

Los componentes de un sistema de riego por aspersión varían en función de la técnica de riego empleada (declarada en la figura anterior). No obstante, hay un conjunto de elementos que son comunes a casi todos los sistemas y que se relacionan a continuación (figura 5.4):

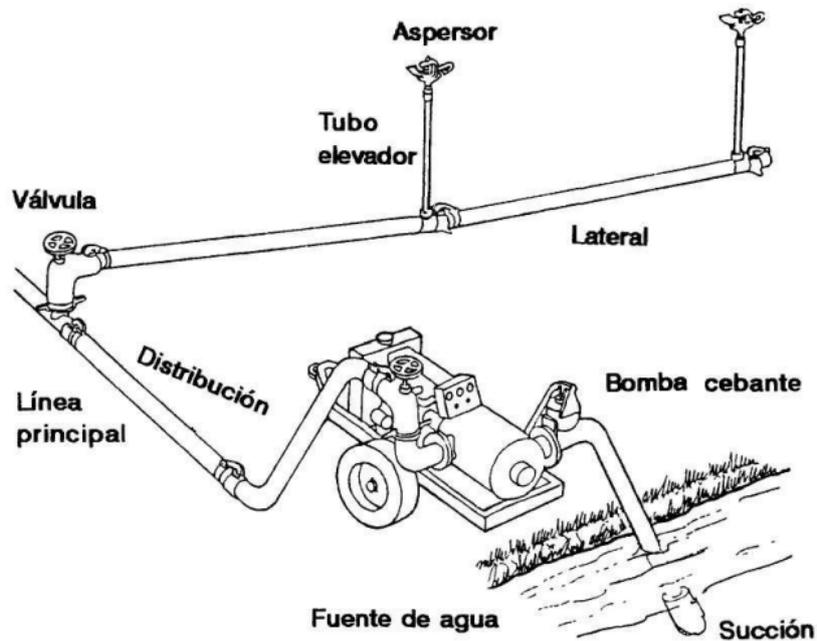
- Estación de bombeo: puede ser fija o móvil. La fuente de energía y los parámetros hidráulicos de la bomba dependerán de las características propias del lugar, de la fuente de abasto (superficial o subterránea) y de la magnitud del sistema de riego.
- Tuberías principales: generalmente son de plástico, aunque pueden ser de otro material y conducen el agua desde la Estación de bombeo hasta los puntos de entrega (hidrantes, válvulas o sistemas de desplazamiento continuo según sea el caso).
- Ramales o laterales de riego: son las tuberías en las que se instalan los aspersores o difusores que entregan el agua en forma de lluvia. Estas tuberías pueden ser soterradas o superficiales, estacionarias o de desplazamiento continuo.
- Aspersores o difusores: son los que entregan el agua en forma de lluvia. Pueden ser tuberías perforadas, toberas, difusores fijos o aspersores. Son el elemento que



define la calidad del riego en la parcela, por lo tanto, se requiere de una correcta selección de estos en el momento de concebir estos sistemas. Por esta razón se ofrece a continuación una clasificación específica de los aspersores atendiendo a diferentes criterios según Tarjuelo (2005).

Figura 5.4

Componentes de un Sistema de Riego por Aspersión Portátil



Fuente: Ortega (1994)

Clasificación de los aspersores según diferentes criterios:

Según la Velocidad de Giro:

- De giro rápido: superiores a 6 vueltas/min. Se utilizan en jardinería, horticultura, viveros, etc. (figura 5.5).
- De giro lento: de 1/2 a 2 vueltas/min. De uso general en agricultura. Para una misma presión, los de giro lento consiguen mayor alcance que los de giro rápido, permitiendo espaciar más los aspersores.



Figura 5.5

Aspersor de Giro Rápido utilizado para el riego del pepino en Manabí



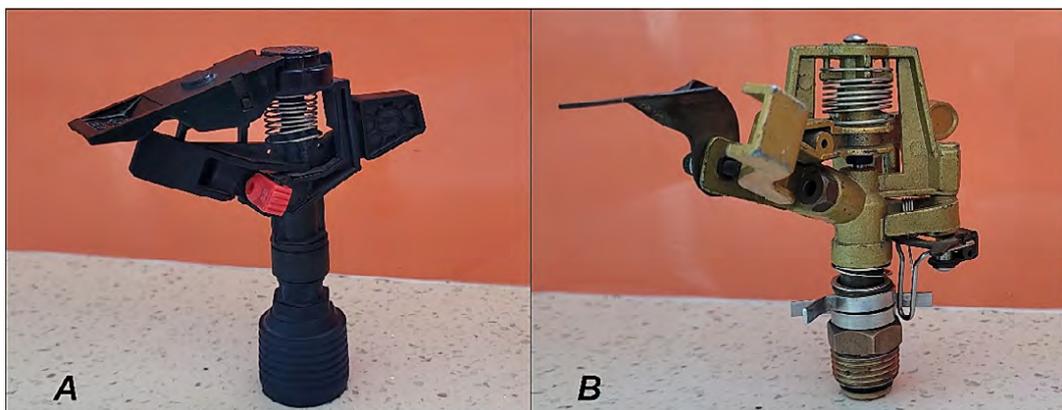
Según el Mecanismo de Giro:

- De reacción: la inclinación del orificio de salida origina el giro.
- De turbina: el chorro incide sobre una turbina que origina el giro.
- De choque o impacto: el chorro incide sobre un brazo con un resorte que hace girar el aspersor de forma intermitente. Mediante un mecanismo especial pueden moverse sólo en un sector circular en lugar de abarcar el círculo completo (aspersores sectorizados) (figura 5.6).

Figura 5.6

Aspersores de Impacto y de Diámetro pequeño

(A: Plástico de giro completo. B: Metálico con posibilidad de riego sectorizado).

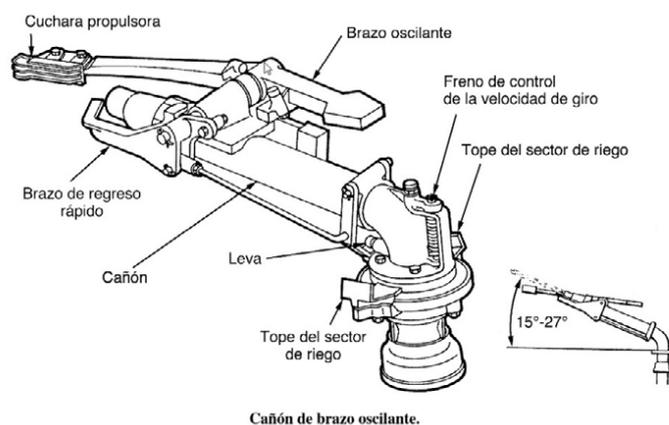


Según la Presión de Operación:

- De baja presión: inferiores a 2.5 kgf/cm^2 ($<250 \text{ kPa}$). Suelen ser de una sola boquilla de salida con orificio inferior a 4 mm , con caudal de descarga inferior a 1000 l/h (0.28 l/s) y giro por choque. Son adecuados para trabajar en espaciamientos rectangulares o cuadrados a distancias en el orden de 12 m o en espaciamientos triangulares a distancias menores a 15 m . Su uso es muy común para el riego de hortalizas, frutales (con ángulo bajo de salida para regar por debajo de las copas de los árboles) y jardinería. Existen modelos más modernos que tienen orificios no circulares en la boquilla de salida (cuadrados, ranurados, etc) que permiten uniformidades de riego superiores en condiciones de viento elevadas ($>4 \text{ m/s}$)
- De media presión: trabajan a presiones entre 2.5 y 4 kgf/cm^2 (250 a 400 kPa). Suelen llevar una o dos boquillas con diámetros entre 4 y 7 mm y entregan caudales entre 1000 y 6000 l/h (0.28 y 1.7 l/s). Se utilizan en espaciamientos desde $12 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ hasta $24 \text{ m} \times 24 \text{ m}$.
- De alta presión: operan a presiones superiores a 4 kgf/cm^2 (400 kPa). Son aspersores de tamaño grande (también llamados cañones) con $1, 2$ ó 3 boquillas y caudales entre 6 y $40 \text{ m}^3/\text{h}$ (1.7 a 11.1 l/s), llegando incluso a superar los $200 \text{ m}^3/\text{h}$ (55.5 l/s) en los más grandes. El mecanismo de giro puede ser de choque o de turbina con alcances entre 25 y 70 m . Suelen tener bajas uniformidades al ser fácilmente afectados por el viento. De igual manera, las gotas de gran tamaño que entregan desde una gran altura pueden dañar el suelo descubierto o los cultivos (figura 5.7).

Figura 5.7

Aspersor de Impacto que opera a Alta presión



Fuente: Tarjuelo (2005)



Existen otros criterios que se han empleado para clasificar los aspersores como son:

Según el Diámetro de Cobertura:

- De Diámetro Pequeño: Hasta 30 m
- De Diámetro Medio: De 30 a 60 m
- De Diámetro Grande: Superior a 60 m

Según la Intensidad de Aplicación:

- De Baja Intensidad: De 1.5 a 5 mm/h. Recomendables para suelos con baja velocidad de infiltración (muy arcillosos o compactos), parcelas con pendientes elevadas o en zonas sensibles a las afectaciones del viento.
- De Media Intensidad: De 5 a 17 mm/h. De uso frecuente en la mayoría de los suelos y cultivos.
- De Alta Intensidad: 17 a 80 mm/h. Recomendables a suelos con alta velocidad de Infiltración (textura media o arenosa).

Según el Grado de Pulverización del Chorro (G):

- De Gota Gruesa: $G < 3$
- De Gota Semigruesa: $G = 3$ a 4
- De Gota Fina: $G = 4$ a 5
- De Gota Semifina: $G = 5$ a 6
- De Gota Finísima: $G > 6$

En esta clasificación es importante considerar que los valores extremos de G no son recomendables para la mayoría de los casos. Valores muy bajos de G significa que se está entregando un riego con gotas muy gruesas lo cual puede dañar la estructura del suelo si está desprovisto de vegetación y también puede perjudicar a ciertos cultivos (impacto en las hojas y en etapa de floración). Por el contrario, valores muy altos de G significa que las gotas son muy finas, lo cual propicia una alta sensibilidad al arrastre por el viento afectando así la uniformidad y eficiencia del riego.

En este caso es recomendable el empleo de aspersores con gotas finas ($G = 4$ a 5) que son de amplia aplicación sobre la mayoría de los suelos y cultivos.

Según el Ángulo de Lanzamiento:

- De Ángulo Bajo: De 0 a 25°.
- De Ángulo normal: De 25 a 45°

5.3.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego por Aspersión

Ventajas.

- Fácil adaptación a dosis de riego de diferente magnitud (tanto a grandes como pequeñas).



- Fácil adaptación a suelos con velocidades de infiltración diferentes (altas o bajas).
- Se adapta sin dificultad a terrenos con topografía ondulada.
- Se adapta a la rotación de cultivos y a los riegos emergentes.
- Dosifica de forma rigurosa los riegos ligeros, lo que permite un mayor ahorro de agua.
- Evita la construcción de canales a la vez que aumenta la superficie útil.
- Es el método más eficaz para el lavado de sales.
- Permite lograr altos grados de automatización con su consiguiente ahorro de mano de obra.
- En algunas modalidades permite el reparto de fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, así como la lucha antihelada.

Inconvenientes

- Generalmente requiere de altas inversiones iniciales y de elevados costos de mantenimiento y funcionamiento (energía).
- Alta susceptibilidad a las afectaciones del viento.
- Interfiere sobre los tratamientos fitosanitarios que protegen la parte aérea de los cultivos.
- Puede originar problemas de sanidad o toxicidad en el follaje cuando se riega con aguas residuales o salinas.

5.4. Riego Localizado

Pizarro, citado por Sánchez y cols. (2011), definió el término Riego Localizado de Alta Frecuencia (RLAF) “de acuerdo con las dos características que le dan su nombre: la localización y la alta frecuencia. La localización se refiere a la aplicación del agua en la zona de raíces de la planta, por ser este el sitio donde las raíces toman la solución del suelo (nutrientes y agua). Esta característica difiere de los sistemas de riego convencionales (gravedad y aspersión) donde el agua es aplicada a la mayoría o totalidad del terreno”.

A pesar de que algunos autores definen el Riego Localizado como una entrega de agua en una zona restringida cercana a las raíces de las plantas, es la alta frecuencia con que se entrega el agua lo que permite lograr rendimientos superiores en los cultivos. La entrega de las pequeñas dosis de riego en zonas restringidas ciertamente permite un ahorro de agua considerable, pero la existencia de niveles de humedad disponible para las plantas muy cercanos a la reserva máxima de humedad del suelo es lo que impacta realmente en el incremento de la producción agrícola.

Existen diferentes técnicas de riego localizado según la forma o el tipo de emisor que



entrega el agua próxima al cultivo. Las más comunes se muestran a continuación:

- Riego por goteo: es una de las técnicas más difundidas. El agua presurizada llega a los emisores o goteros, en los que pierde presión y velocidad, saliendo en forma de goteo continuo. Los goteros trabajan a presiones cercanas a 100 kPa y aportan caudales entre 2 y 16 litros/hora. Existen diferentes modelos de goteros dentro de los cuales se destacan los goteros autocompensantes o sistemas integrados. Estos modelos permiten regular las variaciones de presión en su interior para mantener un caudal estable en la entrega y expulsar alguna partícula que pueda obstruir el flujo en su cavidad. El humedecimiento constante de la zona debajo del gotero forma un bulbo de humedecimiento cercano a la raíz de cada planta. Los goteros se pueden colocar de manera superficial o soterrada.
- Riego por microaspersión: aplica el agua en forma de lluvia muy fina, mojando una zona restringida en función del alcance de cada emisor que puede tener radios entre 2,5 m y 4 m. Los microaspersores trabajan a presiones entre 100 y 200 kPa y pueden suministrar caudales de hasta 200 litros/hora (figura 5.8).
- Riego por tuberías emisoras: se caracterizan por su instalación sobre la superficie del suelo, creando una banda de manera continua de suelo humedecido y no en puntos localizados, como en riego por goteo. Su utilización es común verla en cultivos en línea, con poca distancia entre plantas. Las tuberías más utilizadas son las tuberías goteadoras y las tuberías exudantes. Los diámetros más comunes son de 12 mm, 16 mm y 20 mm.

Figura 5.8

Microaspersores utilizados para el riego de cítricos en Manabí





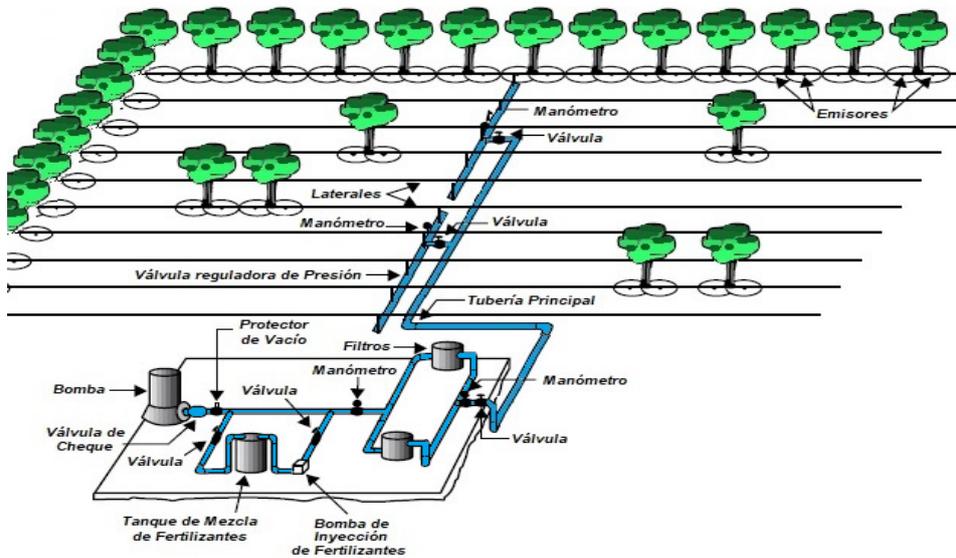
5.4.1. Componentes de un Sistema de Riego Localizado

Un sistema de Riego Localizado puede estar compuesto por diversas partes en función de su magnitud. En la figura 5.9 se muestran los principales componentes (imagen adaptada a partir de versión original de Usmonov y Gregoretti, 2017). Estos componentes se pueden resumir en:

- Estación de Bombeo (incluye la Bomba y otros componentes para la protección eléctrica, prevención del golpe de ariete, sistemas de automatización, etc).
- Sistemas de Filtrado (incluye filtros de arena, malla o discos en función de la naturaleza y calidad del agua. Puede estar concentrado en la Estación de Bombeo y también diseminado a la entrada de cada sector de riego o cabezal).
- Tanque para mezcla de fertilizantes en el agua de riego (fertirrigación).
- Bomba de inyección para el fertirriego.
- Manómetros.
- Válvulas (incluye válvulas para administrar el riego por sectores, válvulas de Cheque y válvulas reguladoras de presión)
- Ventosas (se colocan en los puntos más altos de la red de para permitir la expulsión del aire atrapado en las tuberías).
- Red de tuberías (principales y secundarias).
- Laterales (son las tuberías de menor diámetro que conducen el agua en la dirección de las hileras de plantas y la entregan mediante diferentes formas de emisión).
- Emisores (se colocan en los laterales y entregan el agua a cada planta mediante goteros o microaspersores de bajo caudal).

Figura 5.9

Componentes de un Sistema de Riego Localizado



Fuente: Imagen modificada a partir de versión original de Usmonov y Gregoretti (2017)

5.4.2. Ventajas e Inconvenientes del Riego Localizado

Ventajas

- Ahorro considerable de agua al reducir las pérdidas por conducción y aplicación.
- Economiza el uso de la energía en comparación con el método de riego por aspersión.
- Permite la aplicación de dosis de agua muy precisas y de pequeña magnitud.
- Permite mantener altos niveles de humedad en el suelo durante todo el ciclo del cultivo.
- Se reduce el consumo energético para el bombeo en comparación con el riego por aspersión.
- Reduce considerablemente el riesgo de escurrimiento.
- Permite alcanzar valores de uniformidad y eficiencia del riego superiores a otros métodos de riego.
- Disminuye los requerimientos de fuerza laboral.
- Los sistemas son fácilmente automatizables.
- Aumenta el rendimiento del cultivo por unidad de área.
- Permite la aplicación efectiva de fertilizantes a través del sistema de riego.
- Puede utilizarse en topografía accidentada.
- Permite con mayor facilidad luchar contra la vegetación indeseable y las enfermedades de los cultivos.
- Permite la utilización de aguas salinas.

Inconvenientes

- Requiere de altos costos en la inversión inicial.
- Provoca un desarrollo radical demasiado limitado en los cultivos.
- Es altamente susceptible a las obturaciones (se requiere filtrar el agua).
- Requiere de una mayor capacitación del personal que opera el sistema.
- Algunos elementos del sistema son sensibles a las roturas y el ataque de roedores.
- En las etapas de fomento de los frutales, puede ser afectada la uniformidad del riego por microaspersión debido a la acción del viento.

5.5. Criterios para definir el Método de Riego más conveniente

Una vez conocidas las características que distinguen a cada Método de riego es importante definir cuál de ellos es apropiado para cada parcela específica. Según Pereira y Trout (1999),

La primera decisión que debe tomar un diseñador de riego es la selección del método de riego. Esta elección depende de factores tanto físicos como socioeconómicos, incluidos el costo, la disponibilidad y la calidad del suministro de agua; el tipo de suelo; la topografía y geometría del campo; el tipo y valor del cultivo; el costo y disponibilidad de mano de obra, costos de materiales, costos de energía; y la viabilidad y disponibilidad de las diversas tecnologías. La tabla 5.1 brinda un breve resumen de cómo estos factores afectan la selección del sistema de riego. Las características enumeradas no son pautas estrictas. La economía y el diseño innovador a menudo pueden superar las limitaciones físicas.

Tabla 5.1

Factores para una correcta elección del Método de Riego

No.	FACTOR	V	Riego Superficial	Riego por Aspersión	Riego Localizado
1	Costo del Agua	→ ←	Bajo	Medio	Alto
2	Disponibilidad del Agua	→ ←	Irregular	Regular	Continua
3	Calidad del Agua	→ ←	Cualquiera	Regular	Alta
4	Infiltración del Suelo	→ ←	Media a Baja	Media a Alta	Cualquiera
5	Capacidad de Almacenamiento del Suelo	→ ←	Alta	Media	Baja



No.	FACTOR	V	Riego Superficial	Riego por Aspersión	Riego Localizado
6	Relieve	→ ←	Uniforme	Ondulada	Irregular
7	Geometría del Cultivo (Altura y Marco de Siembra)	→ ←	Cualquiera	Baja Altura	Espaciado
8	Sensibilidad del Cultivo al Déficit Hídrico	→ ←	Baja	Moderada	Alta
9	Valor del Cultivo	→ ←	Bajo	Moderado	Alto
10	Costo de la Mano de Obra	→ ←	Bajo	Variable	Alto
11	Costo de la Energía	→ ←	Alto	Bajo	Moderado
12	Disponibilidad de Capital	→ ←	Bajo	Medio-Alto	Alto
13	Disponibilidad de Tecnología	→ ←	Baja	Media-Alta	Alta

La interpretación de esta tabla debe hacerse considerando que cada factor puede ser limitante para un método de riego en una dirección, pero no en la dirección contraria. Esto significa que si se dispone de un “Costo de agua” bajo es posible regar también por aspersión o por riego localizado, sin embargo, un “Costo de agua” alto ya puede ser un factor limitante para regar por Aspersión o por el Método Superficial. Un escenario contrario al anterior se puede presentar con el factor “Disponibilidad de Capital”. Es posible elegir el Método de Riego por Aspersión y también el Método de Riego Superficial, sin embargo, con una “Disponibilidad de Capital” baja no es viable elegir el Método de Riego Localizado debido a los altos costos de Inversión que implica. Por esta razón, se ha añadido a la tabla original una columna que representa la viabilidad (V) o no de algunos factores en ambas direcciones. Para ello se señala con Flecha Roja la No Viabilidad en una dirección y con Flecha Azul la Viabilidad en dirección contraria.



Capítulo 6

Ideas útiles para la evaluación y mejoras del riego en la Parcela

6.1. El Proyecto de un Sistema de Riego

Antes de proceder a comprar el equipamiento para instalar un sistema de riego en la parcela es preciso analizar diferentes aspectos para que los recursos que se adquieran funcionen correctamente y se correspondan con las necesidades de riego que tendrán los cultivos previstos a desarrollar.

Si estas consideraciones no se realizan antes de efectuar la inversión es muy probable que el sistema no cumpla con las expectativas y que no sea posible realizar un riego de manera eficiente, lo cual implicará un gasto adicional para enmendar los errores o imprecisiones.

El procedimiento correcto debe ser elaborar un Proyecto donde se incluya el Diseño Agronómico y el Diseño Hidráulico del Sistema de Riego. Estos cálculos deben ser realizados por especialistas que dominen los conocimientos básicos de la agronomía de los cultivos, así como del funcionamiento de redes hidráulicas, ya sea en conducciones abiertas (canales) como en conducciones cerradas (tuberías). Para un proyecto bien concebido técnicamente se requiere conocer las propiedades hidrofísicas del suelo, las características del clima y las necesidades de los cultivos en cada período de desarrollo.

Sin embargo, es una realidad que estos especialistas no siempre están al alcance de cada agricultor para asesorarlos en la implementación de un sistema de riego. Por ello resulta muy frecuente que los pequeños agricultores deciden, según su propia experiencia, construir sus sistemas de riego a partir de concepciones empíricas. Estos sistemas de riego contruidos de manera empírica son muy sensibles a afectaciones de todo tipo que limitan su funcionamiento eficiente haciendo un uso ineficiente del agua, un consumo adicional de energía y en muchas ocasiones conllevan a inversiones adicionales que se van realizando para ir perfeccionando sus defectos sobre la base de las observaciones durante su funcionamiento. Un sistema de riego que no haya sido concebido sobre criterios técnicos podrá incrementar el rendimiento de los cultivos en comparación con un cultivo en secano, pero siempre tendrá limitaciones que impedirán alcanzar la máxima rentabilidad posible en la producción.

Por tal motivo en este capítulo se brindarán recomendaciones básicas para una correcta definición del sistema de riego a escala parcelaria, así como su evaluación y mejora por parte de los agricultores.



6.2. Dotación o Caudal Ficticio. Procedimiento de cálculo y utilidad práctica para definir el área y condiciones de riego

Una vez conocida la demanda de riego de cada cultivo (explicado en el Capítulo 4) se requiere definir el caudal necesario para regar la parcela. Este se determina a partir del cálculo de la Dotación o Caudal Ficticio explicado en el acápite 4.4.

Con el valor del Caudal Ficticio y la magnitud del área que se pretende regar, se determina el caudal necesario que debe tener el canal, la tubería o la bomba para abastecer el sistema de riego multiplicando ambos valores.

Por ejemplo, un cultivo que requiere una dosis parcial neta de riego de 150 m³/ha (equivale a 15 mm de lámina de agua) requiere de un riego semanal que está previsto aplicarlo en jornadas de trabajo diarias de 8 horas.

En este caso el cálculo del Caudal Ficticio sería:

$$q = \frac{Dn}{3,6 \cdot J \cdot Pr}$$

donde: q: Caudal neto ficticio o dotación (l/s/ha)

Dn: Dosis parcial neta de riego 150 m³/ha

Pr: Período de riego 7 días (comúnmente se toma un valor entero próximo al 85% del Intervalo de riego crítico del cultivo)

J: Duración de la jornada de riego de 8 horas diarias

Si se sustituyen estos valores en la expresión anterior se obtendría:

$$q = \frac{150}{3,6 \cdot 7 \cdot 8} = \frac{150}{201,6} = 0,744 \text{ l/s/ha}$$

Este sería el valor de caudal neto que se requiere para regar una hectárea de riego. En el acápite 4.4 (tabla 4.9) de este libro se muestran valores de referencia del caudal ficticio de cinco cultivos permanentes analizados para diferentes escenarios de suelo y clima dentro de la provincia de Manabí.

Sin embargo, este caudal ficticio no sería suficiente para ofrecer una garantía de riego. Es preciso recordar que cada técnica de riego tiene una eficiencia diferente que está asociada a la forma en que se entrega el agua. Esto significa que una parte del agua que entrega la red hidráulica no llega efectivamente al cultivo, sino que se pierde por evaporación y arrastre del viento, escurrimiento y otras razones que afectan durante el funcionamiento del sistema de riego.

Tomando en cuenta estas pérdidas asociadas a la eficiencia del Sistema de Riego es preciso calcular el Caudal Ficticio Bruto (q_b) que tiene implícito un valor superior al anterior



calculado para compensar esas posibles pérdidas.

También este valor podría ser diferente si se pretende garantizar el riego a una superficie superior a una hectárea. Por tal motivo se requiere realizar otros cálculos más precisos para obtener mayores garantías de riego.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo más completo tomando en cuenta las consideraciones anteriores.

Se requiere conocer el caudal necesario (Q) para aplicar una dosis neta de 15 mm (150 m³/ha) durante una jornada de riego de 8 horas con un período de riego de 7 días. Se pretende utilizar un Sistema de Riego por Aspersión con una eficiencia de 80% para regar 5 hectáreas.

Datos:

Dosis de Riego Neta (Dn)= 15 mm (150 m³/ha)

Jornada de Riego (J)= 8 horas

Período de Riego (Pr)= 7 días

Eficiencia del Sistema de Riego (η) = 80%

Área de Riego (Ar)= 5 ha

q_b = ¿?

Q = ¿?

La expresión de cálculo a emplear para determinar en caudal ficticio bruto este caso sería:

$$q_b = \frac{\frac{Dn}{\eta}}{3.6 \times J \times Pr} = \frac{\frac{150m^3/ha}{0.8}}{3.6 \times 8 h \times 7 \text{ días}} = 0.93 \text{ l/s/ha}$$

Este sería el caudal ficticio bruto necesario para regar una hectárea, pero en este ejemplo se requieren regar 5 ha, por lo tanto, sería necesario multiplicar este caudal ficticio por el área a regar para obtener el caudal que debe tener el sistema para garantizar el riego bajo las condiciones previstas.

$$Q = q_b \times Ar = 0.93 \text{ l/s/ha} \times 5 \text{ ha} = 4.65 \text{ l/s}$$

Este resultado significa que para regar 5 hectáreas con esas condiciones de riego se requiere un caudal igual o superior a 4.65 l/s.

Conocer este procedimiento de cálculo tiene otra utilidad práctica adicional. Si el agricultor ya dispone de un equipo de bombeo o de una fuente de abasto superficial para riego, basta con conocer del caudal disponible para calcular cuánta área de un cultivo podría regar haciendo el procedimiento de cálculo inverso al anterior. Esta afirmación se explica mediante el siguiente ejemplo:

Se dispone de un equipo de bombeo que suministra un caudal de 5 l/s y se desea conocer la máxima cantidad de área posible a regar con un sistema de riego por aspersión para un



cultivo conociendo que la dosis neta máxima requerida es de 150 m³/ha. El sistema está previsto para regar 8 horas diarias durante 5 días de la semana.

Datos:

Caudal disponible (Q)= 5 l/s

Dosis de Riego Neta (Db)= 150 m³/ha (15 mm)

Jornada de Riego (J)= 8 horas

Período de Riego (Ir)= 5 días

Eficiencia del Sistema de Riego (η) = 80%

Área de Riego (Ar)= ¿?

$Q = 5 \text{ l/s} = q_b \times Ar$

Para calcular el área posible a regar sería:

$$Ar = \frac{Q}{q_b} = \frac{5 \text{ l/s}}{\frac{Dn}{\eta}} = \frac{5 \text{ l/s}}{\frac{150}{0.8}} = \frac{5 \text{ l/s}}{1.3 \text{ l/s/ha}} = 3.85 \text{ ha} \frac{5 \text{ l/s}}{1.3 \text{ l/s/ha}} = 3.85 \text{ ha}$$

Este resultado significa que con 5 l/s de caudal disponible se podrían regar 3.85 ha según las condiciones planteadas en el ejemplo. Para regar una superficie superior sería necesario extender la jornada de riego a un tiempo superior a las 8 horas, incrementar el período de riego (si el cultivo lo permite) o regar con una técnica de riego que tuviera una eficiencia superior al 80%.

En la figura 6.1 se muestran valores de referencia de la eficiencia de diferentes sistemas de riego según Pereira y cols. (2010).



Figura 6.1

Valores de referencia de la eficiencia de diferentes sistemas

Tabla 4.2. Valores indicativos de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego bien proyectados y bien mantenidos.

Sistemas de riego	Eficiencias (%)
• Riego por gravedad con nivelado de precisión:	
– Surcos.	65 – 85
– Fajas.	70 – 85
– Canteros.	70 – 90
• Riego por gravedad tradicional:	
– Surcos.	40 – 70
– Fajas.	45 – 70
– Canteros.	45 – 70
• Riego de arroz, canteros en inundación permanente.	25 – 70*
• Riego por aspersión:	
– Sistemas estacionarios de cobertura total.	65 – 85
– Sistemas estacionarios desplazables manualmente.	65 – 80
– Laterales con ruedas.	65 – 80
– Cañón con enrollador o con cable.	55 – 70
– Laterales móviles, con pivote central.	65 – 85
• Microrriego (riego localizado):	
– Goteros, ≈ 3 emisores por planta (frutales).	85 – 95
– Goteros, < 3 emisores por planta.	80 – 90
– Micro-aspersores y “difusores” (frutales).	85 – 95
– Línea continua de emisores gota-a-gota.	70 – 90

* Los valores más bajos se refieren a canteros tradicionales, mal nivelados y sin un adecuado control de la lámina de agua del cantero, mientras que los más altos se refieren a canteros de grandes dimensiones, bien nivelados y con buen control de la lámina de agua.

Fuente: Pereira y cols. (2010)

6.3. Cómo medir el caudal de una bomba en Descarga Libre (Método de las Coordenadas del Chorro)

Existen varios métodos para evaluar el Caudal de una Bomba. En condiciones de laboratorio se pueden utilizar caudalímetros o flujómetros de diferentes tipos con elevada precisión.

En condiciones de campo es posible medir el caudal por otros procedimientos menos precisos, pero más asequibles. Cuando las bombas entregan caudales pequeños (inferiores a 1 l/s) se puede utilizar el aforo volumétrico. Este método consiste en medir el tiempo que demora en llenarse un recipiente en el que previamente se ha determinado su volumen con la mayor precisión posible. Al conocerse el tiempo de llenado del recipiente luego de varias mediciones para evitar un error, se procede a calcular el caudal dividiendo el volumen llenado por el tiempo transcurrido, según se muestra en la expresión:

$$Q = \frac{V \text{ (litros)}}{t \text{ (segundos)}}$$

donde: Q: caudal de la bomba (l/s)



V: volumen del agua (litros)

t: tiempo de llenado (segundos)

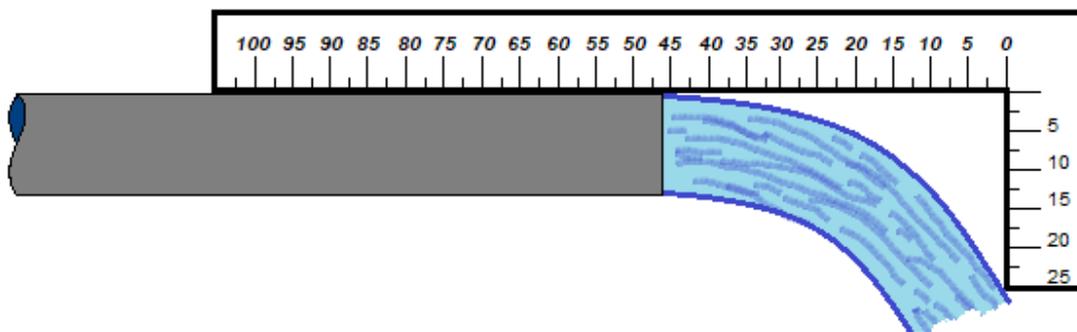
Otro método que se puede emplear con relativa facilidad en la parcela es el método de las coordenadas del chorro. Este método consiste en preparar una escuadra en la cual se definen escalas en centímetros como se muestra en la figura 6.2.

Posteriormente se prepara una instalación que permita que la bomba entregue el agua en descarga libre mediante una tubería que debe estar completamente horizontal. Se procede a medir el diámetro interior de la tubería por donde se descargará el agua. Es importante señalar que el borde de salida de la tubería debe estar libre de rebabas como resultante del corte de la tubería o de otro accesorio que impida la salida del chorro de manera compacta.

Si la bomba está extrayendo agua de un pozo, es recomendable esperar unos minutos antes de la medición para esperar a que se establezca el nivel del manto freático. Una vez que la bomba estabiliza el flujo, se procede a deslizar la escuadra sobre la tubería hasta que el chorro roce en su parte superior el borde inferior de la escuadra (equivale a la lectura establecida en el eje Y, en la figura 6.2 corresponde a 25 cm). Se procede a registrar la lectura de distancia en el eje X, en la figura 6.2 es un valor ligeramente superior a 45 cm).

Figura 6.2

Medición de las coordenadas del chorro en descarga libre



Con los valores de coordenadas del chorro medidos en ambas direcciones de la escuadra se procede a calcular la velocidad de salida del agua mediante la siguiente expresión cuando el tubo entrega el agua a sección llena:

$$Q_{II} = \frac{\pi d^2 X}{4} \sqrt{\frac{g}{2Y}} = At X \sqrt{\frac{g}{2Y}}$$

donde: Q_{II} : Caudal de la bomba entregando el agua a sección llena (m^3/s)

π : Constante adimensional 3.14

d: Diámetro interior de la tubería que descarga (m)

X: lectura de la coordenada del chorro en dirección horizontal (m)

Y: lectura de la coordenada vertical del chorro en dirección vertical (m)

g: Constante de aceleración de la Gravedad (9.81 m/s²)

At: Área de la sección transversal del tubo (m²)

Si la salida del chorro no se produce con la sección del tubo completamente llena, deberá emplearse la siguiente expresión para ajustar el caudal:

$$Q = \frac{A_p}{A_t} Q_{II}$$

donde: Q: Caudal con tubería parcialmente llena (m³/s)

A_p: Área de la sección transversal del tubo que ocupa el chorro al salir (m²)

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo a partir de una medición de caudal realizada con la tubería a sección llena a una bomba tomando agua de un pozo en una parcela en Chone (figura 6.3).

Figura 6.3

Medición de las coordenadas del Chorro realizada a una bomba en una parcela en Chone



Datos:

Diámetro comercial de la Tubería= 1¼ pulgadas

Diámetro interior del tubo medido= 31.75 mm

Lectura en X= 42.5 cm

Lectura en Y= 15 cm

Sustituyendo en la expresión de cálculo todas las medidas expresadas en sistema métrico quedaría:



$$Q_{II} = \frac{\pi d^2 X}{4} \sqrt{\frac{g}{2Y}} = \frac{3.14(0.03175m)^2 0.425m}{4} \sqrt{\frac{19.62m/s^2}{2(0.15cm)}} Q_{II} = \frac{\pi d^2 X}{4} \sqrt{\frac{g}{2Y}} = \frac{3.14(0.03175m)^2 0.425m}{4} \sqrt{\frac{19.62m/s^2}{2(0.15cm)}}$$

= 0.00272 m³/s = **2.72 l/s = 2.72 l/s**

El resultado muestra que la bomba está entregando un caudal de 2.72 l/s

En la tabla 6.1. se muestran los valores de caudal (l/s) que se obtienen al aplicar este método a tubos trabajando a sección llena con un valor fijo de Y= 15 cm.

Tabla 6.1

Valores de Caudal que se obtienen a partir de las coordenadas del chorro para diferentes diámetros de tubería con un valor constante de Y= 15 cm

Caudal en Litros por Segundo (l/s) Válido para valor constante de Y= 15 cm						
Distancia Horizontal del Chorro (Coordenada X: cm)	Diámetro de la Tubería en Pulgadas					
	2	3	4	6	8	10
5,0	0,58	1,30	2,32	5,22	9,27	14,49
7,5	0,87	1,96	3,48	7,82	13,91	21,73
10,0	1,16	2,61	4,64	10,43	18,54	28,98
12,5	1,45	3,26	5,80	13,04	23,18	36,22
15,0	1,74	3,91	6,95	15,65	27,82	43,46
17,5	2,03	4,56	8,11	18,25	32,45	50,71
20,0	2,32	5,22	9,27	20,86	37,09	57,95
22,5	2,61	5,87	10,43	23,47	41,72	65,20
25,0	2,90	6,52	11,59	26,08	46,36	72,44
27,5	3,19	7,17	12,75	28,69	51,00	79,68
30,0	3,48	7,82	13,91	31,29	55,63	86,93
35,0	4,06	9,13	16,23	36,51	64,91	101,41
40,0	4,64	10,43	18,54	41,72	74,18	115,90
45,0	5,22	11,74	20,86	46,94	83,45	130,39
50,0	5,80	13,04	23,18	52,16	92,72	144,88
55,0	6,37	14,34	25,50	57,37	101,99	159,37
60,0	6,95	15,65	27,82	62,59	111,27	173,85

6.4. Cómo medir el Caudal que fluye por un Canal

Con cierta frecuencia se comunica a los agricultores de la asignación de un suministro de agua para riego de su parcela, el cual está sujeto a determinados horarios y días de la semana. Este suministro de agua se expresa como un caudal entregado durante un intervalo de tiempo con lo cual se puede determinar el volumen total asignado.

No obstante, la mayoría de los agricultores no disponen de equipos de medición ni conocen ningún procedimiento que les permita verificar con cierta precisión la cantidad de agua que están recibiendo.

En este acápite se explicarán dos formas de medición de caudales que podrán ser empleados por los agricultores con relativa facilidad.



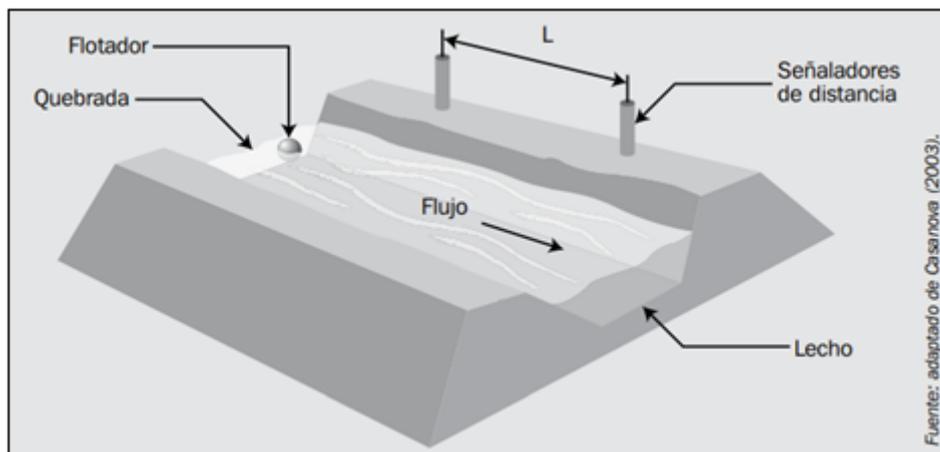
Medición de Caudal en un canal con flotadores

El siguiente procedimiento será explicado basado en las consideraciones expuestas por Carrazón (2007):

- Se selecciona un tramo del canal o río que sea recto y de sección lo más uniforme posible.
- Se sitúan dos marcas a una distancia **L** de entre 20 y 50 metros en función de la magnitud del cauce (a mayor tamaño, mayor distancia).
- Se coloca el flotador (elaborado con cualquier material flotante preferiblemente esférico) sobre la superficie a una distancia antes de la primera marca equivalente a la mitad de **L** (es decir, si las marcas están separadas por ejemplo 50 m se libera el flotador 25 m antes de la primera marca). Se debe procurar que se libere lo más centrado posible sobre el ancho del espejo de agua para reducir el riesgo de que roce con los taludes del cauce.
- Con la ayuda de un cronómetro, se mide el tiempo que transcurre en recorrer la distancia entre ambas marcas (en segundos).
- Se repite la medición liberando el flotador otras cuatro veces según se muestra en la figura 6.4.

Figura 6.4

Medición de Caudal con flotador



Fuente: Carrazón (2007)

- Se calcula el promedio de los cinco tiempos medidos (T).
- Conociendo la distancia, se calcula la velocidad superficial del agua (Vs) al dividir la misma entre el tiempo promedio según la expresión:

$$V_s \text{ (m/s)} = \frac{L \text{ (m)}}{T \text{ (seg)}}$$



- Normalmente la velocidad promedio considerando (V_p) toda la sección del cauce es inferior a la superficial. Por lo tanto, se requiere aplicar un factor de corrección (K) para estimar ese valor a partir de V_s :

$$V_p \text{ (m/s)} = K \times V_s \text{ (m/s)}$$

Si el flotador es muy liviano, la velocidad de este en la superficie será mayor que la velocidad promedio del flujo en toda la sección; por lo que se hace necesario multiplicarle por un coeficiente de ajuste que está en función de la profundidad del cauce y que según USBR, citado por CONGOPE (2016), tiene los valores que se muestran en la tabla 6.2:

Tabla 6.2

Coefficiente de ajuste de la Velocidad del Flujo medida con un flotador según la profundidad de circulación

Profundidad Promedio (m)	Coefficiente K (adimensional)
0.30	0.66
0.61	0.68
0.91	0.70
1.22	0.72
1.52	0.74
1.83	0.76

Se procede a medir la profundidad (p) del cauce (en metros) en diferentes puntos separados preferiblemente un metro entre ellos (mediciones $p_1, p_2, \dots p_n$). De igual manera se debe medir el ancho del espejo de agua (a) (también en metros).

- Se calcula la profundidad promedio del cauce (P), a partir de la siguiente expresión:

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \text{ (m)}$$

- Se calcula el ancho promedio del cauce (A), a partir de la siguiente expresión:

$$A = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

- Una vez calculados los valores de P y A se procede a calcular el área de la sección del cauce ocupada por el flujo (W) mediante la siguiente expresión:

$$W \text{ (m}^2\text{)} = A \text{ (m)} \times P \text{ (m)}$$



- Finalmente se procede a calcular el caudal (Q) multiplicando la velocidad promedio por el área de la sección de flujo:

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = A \text{ (m}^2\text{)} \times V_p \text{ (m/s)}$$

Medición de Caudal en un canal mediante un vertedor rectangular

El siguiente procedimiento será explicado basado en las consideraciones expuestas por CONGOPE (2016):

Los Vertedores son estructuras metálicas, de madera u hormigón con una escotadura en la parte superior a través de la cual el agua puede fluir. El borde inferior de la escotadura recibe el nombre de “cresta” y se le representa con “L” y la altura de la lámina se llama “carga” y se le representa con “H”. Se clasifican de acuerdo con la forma de la escotadura, al tipo de construcción de la cresta, por el espacio que ocupen en el lecho de la fuente y por su funcionamiento.

Antes de iniciar la preparación para medir el flujo con un vertedor es preciso conocer ciertas consideraciones que se relacionan a continuación:

- La cresta y los lados de la escotadura del vertedero deben ser contruidos de un espesor no mayor de 1/8” (3 mm).
- El vertedero debe estar diseñado para aforar la carga máxima esperada en la corriente. Si es de madera conviene que la escotadura sea de metal biselado. La máxima carga no será mayor que un tercio de la longitud de la cresta.
- Se debe escoger un tramo de canal recto y uniforme de una longitud igual a 10 veces la longitud de la cresta.
- Se debe colocar el vertedor transversal a la corriente, tapándole a esta y obligándole al agua a que fluya por la escotadura
- La cresta debe quedar completamente recta y a nivel, en el caso de vertederos rectangular o trapezoidal (ver figura 6.5).

Figura 6.5

Medición de Caudal con un vertedor rectangular de pared delgada con contracciones laterales realizado por estudiantes de la ULEAM en canales de riego del arroz en el sector del SOSOTE, Manabí



- El punto donde se mide la carga es igual a $4H$ aguas arriba de la corriente donde se coloca una estaca que debe estar nivelada a la cresta del vertedero (ver figura 6.6).

Figura 6.6

Colocación del punto de medición aguas arriba para medir la carga hidráulica sobre un vertedor rectangular. Realizado por estudiantes de la ULEAM en canales de riego del arroz en el sector del SOSOTE, Manabí



- La carga “H” no debe ser menor de 8 cm. ni mayor de 60 cm.
- En vertederos rectangulares y trapezoidales la carga no debe exceder de 1/3 de la longitud de la cresta.
- Los vertederos rectangulares y trapezoidales se utilizan para medir caudales de hasta 2000 l/s.
- Los vertederos resultan inadecuados para las aguas que acarrean mucho sedimento porque estos se depositan cerca de ellos y hacen variar las condiciones necesarias para un aforo exacto.

La fórmula general para el cálculo del caudal que pasa por un vertedero rectangular es:

$$Q = C \times L \times H^{1.5} \quad C \times L \times H^{1.5}$$

donde: Q = caudal en m³/s

C = coeficiente adimensional.

L = longitud de cresta (m)

H = nivel de agua sobre la cresta (m) medido a una distancia equivalente a 4H aguas arriba de la corriente

El coeficiente varía de acuerdo con las condiciones en que se encuentra un medidor, así, para vertederos rectangulares de pared gruesa: C = 1.45 y para vertederos de pared delgada, sin contracciones C = 1.84

Para vertederos de pared delgada con contracciones la fórmula es:

$$Q = 1.84 (L - 0.1 n H) H^{1.5}$$

donde: n = número de contracciones

6.5. Cómo evaluar un sistema de riego

Es muy común que en ocasiones existe un sistema de riego del cual no se tiene la certeza de que esté funcionando correctamente. Estas inquietudes surgen cuando se observa que las plantas comienzan a crecer de manera desigual y se aprecian zonas en la parcela donde las plantas están menos desarrolladas o al final de la cosecha no se obtiene un rendimiento uniforme. Estas diferencias en el desarrollo de la plantación pueden estar asociadas a problemas de uniformidad en la entrega del agua, sobre todo al final del campo donde la dosis de riego no alcanza a satisfacer la demanda de los cultivos.

Cuando se quiere evaluar la calidad de un sistema de riego es necesario conocer que existen dos categorías de indicadores que Tarjuelo (2005), definió de la siguiente forma:

Medidas de Uniformidad: dan idea de la igualdad con que el agua de riego se reparte en los distintos puntos de la parcela.

Medidas de Eficiencia: dan idea de la extensión de la parcela en que el riego se ha aplicado correctamente.



Para conocer la calidad del riego a través de estos indicadores se establecen normas y procedimientos que describen qué equipamiento y cómo se debe evaluar el riego en función de la técnica que se emplee.

Una representación esquemática de las Normas más utilizadas para evaluar sistemas y equipos de riego se puede apreciar en la figura 6.7 según Zazo (2019). Como se puede apreciar, existe un marco regulatorio para evaluar Equipos y Sistemas de Riego que se sustenta de forma predominante en Normas ISO y normas UNE. Los procedimientos de algunas de estas normas serán explicados a continuación de acuerdo con las técnicas de riego más comunes empleadas en las parcelas de riego tecnificadas.

Figura 6.7

Normalización de Equipos y Sistemas de Riego



Fuente: https://www.mapa.gob.es/images/es/ponencia2_tcm30-523108.pdf

6.5.1. Materiales y Procedimientos para evaluar un sistema de Riego Localizado

Para evaluar los Sistemas de Riego Localizado es recomendable consultar la norma UNE-EN 15097 de la Asociación Española de Normalización y Certificación, en la cual se describe el sistema hidráulico de riego localizado y el procedimiento para determinar la uniformidad de la distribución del riego (AENOR, 2007).

A continuación, se expondrá un resumen de los aspectos más importantes para ejecutar esta evaluación:

Materiales necesarios

- 1- Probeta o recipiente graduado
- 2- Cronómetro



3- Manómetro

4- Papel y bolígrafo para registro de Información

Procedimiento para determinar el Coeficiente de Uniformidad

1- Seleccionar dentro del Sistema de Riego un sector que sea representativo de las condiciones medias de funcionamiento y que reciba el suministro del mismo ramal.

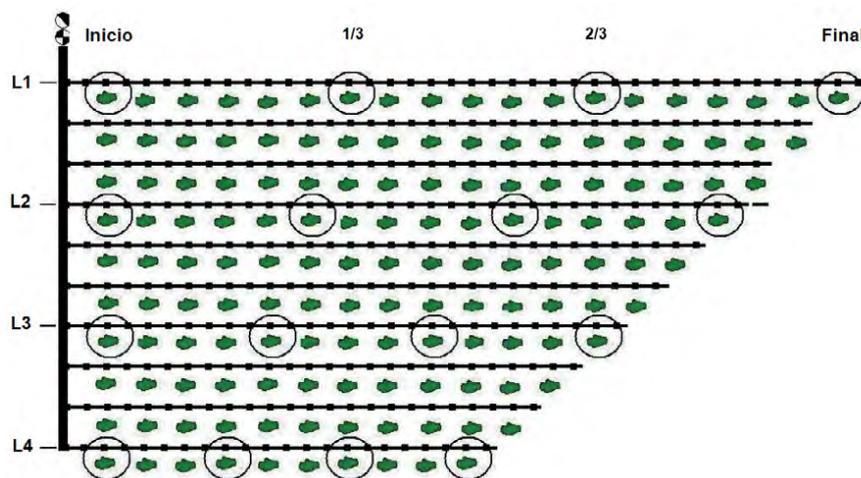
2- Determinar cuatro tuberías laterales sobre una tubería secundaria en funcionamiento. Una al principio, otra al extremo final y las otras dos seleccionarlas a igual distancia dentro de las dos primeras.

3- En condiciones normales de funcionamiento, medir las presiones al principio y al final de los cuatro laterales seleccionados (8 lecturas en total).

4- En cada tubería lateral seleccionar dos distribuidores contiguos y cuatro emplazamientos distintos: al principio, a 1/3 de la longitud, a 2/3 y al final para realizar las mediciones (figura 6.8).

Figura 6.8

Ubicación de los 16 puntos de medición abastecidos por el mismo ramal o tubería secundaria en la parcela



5- Medir volumen de todos los distribuidores escogidos durante un tiempo fijo en minutos (32 medidas de caudal en 16 puntos) (ver figura 6.9).



Figura 6.9

Medición del Volumen descargado por un microaspersor en un Sistema de Riego Localizado regando cítricos en Manabí



6- Calcular el caudal medio de cada pareja formada por los dos distribuidores contiguos, lo que originará 16 caudales medios. Se obtiene al dividir cada volumen recogido en la probeta por el tiempo de medición y se expresa en litros por hora (l/h).

7- Calcular la media de los cuatro valores más pequeños, que representan el caudal mínimo de distribución por planta.

8- Calcular la media general de los 16 valores, que representa el caudal medio de los distribuidores.

9- Calcular los Coeficientes de Uniformidad en la parcela mediante la expresión siguiente:

$$CUq=100 \times \frac{q_{25\%}}{q_{med}}$$

donde: CUq: Coeficiente de Uniformidad de Caudales (%)

$q_{25\%}$: Promedio del 25 % de los valores más bajos de caudal (l/h)

q_{med} : Promedio de todos los valores de caudal calculados (l/h)

Una vez que se ha calculado el CUq se puede evaluar la uniformidad del Sistema de Riego según el criterio de Merriam y Keller (1978), que se muestra en la tabla 6.3.



Tabla 6.3

Categorías de la Uniformidad según valores del CUq en Sistemas de Riego Localizado

Categoría	CUq
Excelente	>90 %
Buena	80 % - 90 %
Aceptable	70 % - 80 %
Inaceptable	< 70 %

A continuación, en la tabla 6.4 se muestra un ejemplo de registro de datos y cálculo del CUq para un sistema de Riego por Goteo. Se podrá comprobar que el promedio de los valores correspondientes al 25% de las observaciones menores ($q_{25\%} = 1.6$) se obtiene al promediar los últimos cuatro valores de la última columna donde están ordenados de manera decreciente.

Tabla 6.4

Datos de Caudal recogidos en una evaluación realizada a un Sistema de Riego por Goteo

Lateral	Posición en Lateral	Emisor	Volumen (ml) o Caudal (l/h)	Promedio	Orden Decreciente
L1	Inicio	1	2,7	2,6	2,8
		2	2,5		
	1/3	1	2,4	2,5	2,6
		2	2,6		
	2/3	1	2,1	2,2	2,6
		2	2,3		
	Final	1	2,7	2,8	2,5
		2	2,9		
L2	Inicio	1	2,5	2,5	2,5
		2	2,5		
	1/3	1	1,7	1,8	2,5
		2	1,9		
	2/3	1	2,5	2,6	2,3
		2	2,7		
	Final	1	2,3	2,5	2,2
		2	2,7		
L3	Inicio	1	1,8	2,0	2,2
		2	2,2		
	1/3	1	2,1	2,1	2,1
		2	2,1		
	2/3	1	2,0	2,2	2,0
		2	2,4		
	Final	1	2,0	1,9	1,9
		2	1,8		
L4	Inicio	1	1,5	1,6	1,8
		2	1,7		
	1/3	1	1,5	1,7	1,6
		2	1,9		
	2/3	1	1,5	1,5	1,6
		2	1,5		
	Final	1	2,3	2,2	1,5
		2	2,1		
PROMEDIO				2,17	1,63
				CU (%)	75



A partir de este resultado obtenido de $CUq = 75\%$ se puede evaluar la uniformidad como ACEPTABLE.

Posibles Causas de la Baja Uniformidad del Riego Localizado en la Parcela

Problemas Hidráulicos

1. Baja presión en la Bomba
2. Diferencias de Presiones
3. Falta de Reguladores de Presión
4. Mal funcionamiento de Reguladores
5. Laterales demasiado largos o diámetro insuficiente

Problemas Físicos

1. Obturaciones
2. Filtro obstruido o sucio
3. Daños o fugas de agua
4. Mala calidad de emisores

Medidas a aplicar para mejorar la Uniformidad del Riego Localizado en función de la Causa

Problemas Hidráulicos

1. Rectificar la Presión de Bombeo
2. Ajustar o Instalar Reguladores de Presión
3. Revisar el Diámetro y Longitud de Laterales según el Proyecto

Problemas Físicos

1. Drenar los Laterales
2. Limpiar o cambiar los Filtros
3. Reparar las Fugas de Agua
4. Cambiar los Emisores o Laterales

6.5.2. Materiales y Procedimientos para evaluar un sistema de Riego por Aspersión

Para evaluar los Sistemas de Riego por Aspersión estacionario es recomendable consultar la norma ISO 15886-3 (2021), en la cual se describe el procedimiento para determinar la



uniformidad de la distribución del riego.

A continuación, se expondrá un resumen de los aspectos más importantes para ejecutar esta evaluación:

Materiales necesarios

1. Probetas de 50, 100, 250, 500 y 1000 mm
2. Cronómetro
3. Manómetro
4. Envase plástico de 20 litros
5. Pluviómetro
6. Anemómetro
7. Calibrador o pie de rey
8. Cinta métrica
9. Hoja y bolígrafo para registro de Información

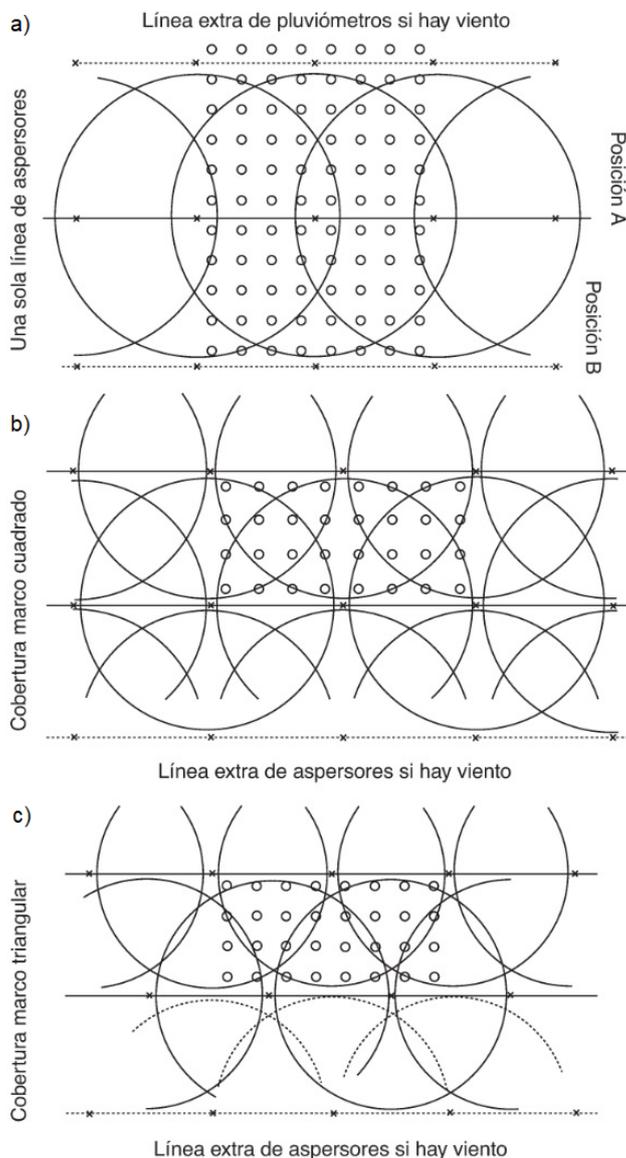
A continuación, se describe el procedimiento de evaluación de campo según las indicaciones de Tarjuelo (2008).

Procedimiento para determinar el Coeficiente de Uniformidad

1. Elegir el lugar del ensayo en la zona central del bloque de riego (para evitar la distorsión que se produce en los bordes) y donde las presiones existentes sean lo más parecidas posible a las de diseño del sistema.
2. Dentro del ramal de aspersores se tomará la zona próxima al 35% de su longitud desde el origen ya que allí es donde se encuentra aproximadamente la presión media.
3. Parar la rotación de los aspersores, dirigiendo el chorro fuera de la zona ocupada por los pluviómetros.
4. Medir con la cinta métrica cual es el marco real, y determinar el número de pluviómetros a colocar y la separación entre estos. Colocar la red de pluviómetros a un marco no mayor de 3 m × 3 m, con un mínimo de 24 pluviómetros. Se adoptarán las disposiciones recogidas en la figura 6.10, enterrando ligeramente los pluviómetros para evitar que se vuelquen y comprobando que quedan perfectamente verticales, sin interferencias del cultivo. Es recomendable situar los pluviómetros en sitios altos ya que en las depresiones puede acumularse agua durante el riego, que puede hacer flotar el pluviómetro y volcarlo.

Figura 6.10

De arriba a abajo, disposición de los pluviómetros en ensayos de evaluación: a) con una sola línea de aspersores; b) en coberturas a marco cuadrado o rectangular, y c) en coberturas a marco triangular



Fuente: Merriam, citado por Tarjuelo (2008)

5. Cada pluviómetro recoge la altura de agua representativa del área del cuadrado de dimensiones igual al marco de la red de pluviómetros.
6. Anotar la pendiente de las líneas y su diámetro, al ser posible.
7. Comprobar los aspersores: marca, modelo y diámetros de boquillas.
8. Medir la presión y el caudal descargado por los aspersores que mojan la zona ocupada por los pluviómetros, utilizando una manguera flexible, un recipiente de volumen conocido y un cronómetro para medir el caudal.



9. Medir la altura del tubo portaaspersor y comprobar su verticalidad.
10. Soltar los aspersores y anotar la hora: esta corresponderá al comienzo del ensayo. Previo a esta operación deben vaciarse todos los pluviómetros si es que alguno ha recibido agua del aspersor sin giro.
11. Medir la presión en el grupo de bombeo, en los aspersores del origen y del extremo de los ramales implicados en el ensayo, así como en los puntos más significativos de la subunidad de riego. Se tomarán varias medidas de presión durante la evaluación para detectar posibles variaciones.
12. Medir las condiciones de temperatura, humedad relativa, y velocidad y dirección del viento cada 10 o 15 minutos. Para esta última se tomará como referencia el sentido del flujo de agua en el ramal (figura 6.11).

Figura 6.11

Medición de la Velocidad del Viento durante la evaluación a un sistema de riego por aspersión estacionario en áreas agrícolas de Portoviejo, provincia Manabí



13. Colocar varios pluviómetros fuera de la zona de ensayo con la cantidad de agua que aproximadamente recogerá la red de pluviómetros para estimar el volumen de agua perdido por evaporación durante el proceso de riego y el de lectura. Esto, no obstante, aporta una información poco precisa sobre la evaporación real en los pluviómetros, dada la gran diferencia de condiciones ambientales entre pluviómetros dentro y fuera del área regada, siendo menor la diferencia durante el proceso de lectura.
14. Durante el ensayo se puede medir la velocidad de giro de los aspersores si se notase gran diferencia en el giro de los distintos aspersores.
15. Al acabar la prueba, medir la presión, anotar la hora y evitar que el chorro de los

- aspersores caiga sobre los pluviómetros en caso de parar la instalación.
16. La duración del ensayo deber ser lo más parecida posible a la de un riego real para obtener el efecto total del viento y evaporación.
 17. Medir los volúmenes recogidos en los pluviómetros anotando las anomalías en la verticalidad. También se anotan las lecturas de los pluviómetros situados en la periferia para estimar las pérdidas por evaporación durante el riego y durante el tiempo de lectura.
 18. Se toman anotaciones sobre las características de las parcelas, en cuanto al número de aspersores, tipo de terreno, cultivo, etc., y se hará un croquis localizando la evaluación, presiones, etc.
 19. En el caso de un solo ramal se supone que los resultados de pluviometría recogidos en la parte derecha del ramal se pueden solapar con los de la parte izquierda, y se simularán distintos espaciamientos entre ramales.
 20. Determinar la Uniformidad del Riego.

La Uniformidad de Riego se puede determinar a partir de las siguientes expresiones:

$$CUC(\%) = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right] * 100$$

donde:

CUC= Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (%)

x_i = volumen de agua acumulado en cada pluviómetro (ml)

\bar{x} = volumen medio de agua recogida en todos los pluviómetros (ml)

n = número de pluviómetros que intervienen en la evaluación.

$$UD(\%) = \frac{V_{25\%}}{V} * 100$$

donde:

UD= Uniformidad de distribución (%)

$V_{25\%}$ = Volumen medio de agua recogida en el 25% del área menos regada (ml)

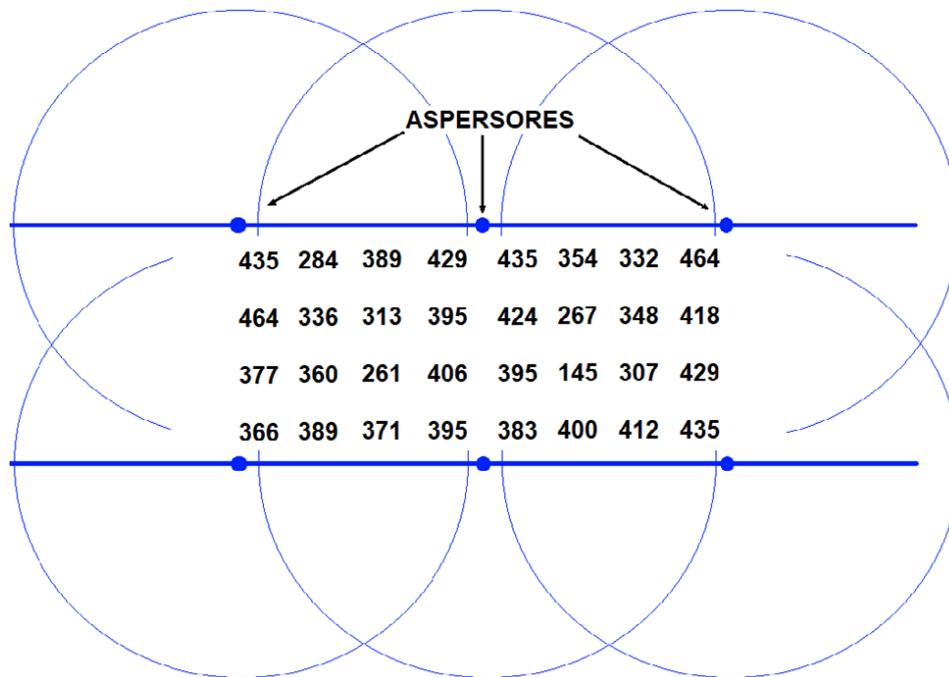
V = volumen medio de agua recogida en todos los pluviómetros (ml)

A continuación, se ofrece un ejemplo de cálculo generado a partir de una evaluación pluviométrica realizada a un sistema de riego por aspersión (figura 6.12).



Figura 6.12

Lecturas tomadas en 32 pluviómetros a partir de una evaluación pluviométrica a un sistema de riego por aspersión estacionario en cobertura a marco cuadrado



En la tabla 6.5 se muestra un ejemplo de registro de datos y cálculo del CUC y UD para un sistema de Riego por Aspersión.

Tabla 6.5

Registro y procesamiento de datos de una evaluación pluviométrica a un sistema de riego por aspersión estacionario

Pluviómetro	Volumen (ml)	$ x_i - \bar{x} $	Volúmenes en Orden Decreciente
1	435	62,6	464
2	464	91,6	464
3	377	4,6	435
4	366	6,4	435
5	284	88,4	435
6	336	36,4	429
7	360	12,4	429
8	389	16,6	424
9	389	16,6	418
10	313	59,4	412
11	261	111,4	406
12	371	1,4	400
13	429	56,6	395
14	395	22,6	395
15	406	33,6	395
16	395	22,6	389
17	435	62,6	389
18	424	51,6	383
19	395	22,6	377
20	383	10,6	371
21	354	18,4	366
22	267	105,4	360
23	145	227,4	354
24	400	27,6	348
25	332	40,4	336
26	348	24,4	332
27	307	65,4	313
28	412	39,6	307
29	464	91,6	284
30	418	45,6	267
31	429	56,6	261
32	435	62,6	145
Promedio \bar{x}	372,4		280,63
Sumatoria $\Sigma x_i - \bar{x}$		1595,4	
CUC (%)		86,6	
		UD (%)	75,3



Al analizar estos resultados a partir de las consideraciones de Merriam y Keller (1978) y Keller y Bliesner (1990) reflejados en la tabla 6.6 se puede concluir que la Uniformidad del Riego es **Buena** (basado en el CUC= 86.6%) y Regular (basado en la UD= 75.3%).

Tabla 6.6

Categorías de CUC y UD de acuerdo con el valor de Uniformidad del Riego

Categoría	CUC (%)	UD (%)
Excelente	> 90	> 85
Buena	80 - 90	80 - 85
Regular	70 - 80	75 - 80
Pobre	< 70	< 70

Posibles Causas de la Baja Uniformidad del Riego por Aspersión en la Parcela

Problemas Hidráulicos

1. Incorrecta presión en la Bomba (muy baja o muy alta)
2. Diferencias de Presiones por desniveles
3. Laterales demasiado largos o diámetro insuficiente

Otras causas

1. Obturaciones en la red
2. Boquillas con diferentes diámetros
3. Aspersores con giro no uniforme
4. Daños en las válvulas o fugas de agua
5. Espaciamientos muy grandes entre aspersores
6. Afectaciones por viento excesivo

Medidas a aplicar para mejorar la Uniformidad del Riego por Aspersión en función de la Causa

Problemas Hidráulicos

1. Ajustar la presión de Bombeo
2. Rectificar la ubicación de la red hidráulica
3. Reducir las longitudes del Lateral



Otras causas

1. Hacer drenajes en la red
2. Rectificar diámetros en boquillas diferentes
3. Sustituir aspersores defectuosos
4. Reparar o sustituir las válvulas dañadas
5. Reducir espaciamientos entre aspersores o laterales
6. Regar en horarios de menor viento (nocturno)



Referencias

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2007). Técnicas de riego. Riego localizado. Evaluación hidráulica. Norma UNE-EN 15097, Art. UNE-EN 15097. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0039308>
- Aguilera, M. y Martínez, R. (1996). *Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. Universidad Autónoma de Chapingo. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002001100011#tab3
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, no. ser. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 56.
- Alvarado, B. C. y Barahona, P.M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa. *Cuadernos de Investigación UNED*, 9(1), 23-33. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00023.pdf>
- Araujo, DA.S. T. J., Folegatti, M.V., Da Silva, C. R., Júnior, J. A. y De Matos, P. R. C. (2006). Evapotranspiração e coeficientes de cultura do Maracujazeiro Amarelo conducido sob duas orientações de plantio. *Irriga, Botucatu*, 11(1), 90-106 <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3228>. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p90-106>.
- Bogantes, A. A., Mora, N. E., Umaña, R. G. y Loria, Q. C. L. (2011). *Guía para el cultivo de la papaya en Costa Rica*. https://www.researchgate.net/publication/319433988_GUIA_PARA_EL_CULTIVO_DE_LA_PAPAYA_EN_COSTA_RICA
- Bonet, P. C., Guerrero, P.P., Rodríguez, C. D., Hernández, LL. J. y Rodríguez, R. P. (2015). Régimen de Riego de la Piña en la provincia Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(4), 16-24. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v24n4/rcta03415.pdf>
- Bravo, E. F. E. y Santana, M. H. J. Determinación de la Distribución Espacial de las Variables Climatológicas en Manabí con fines de Riego. Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería. ULEAM, 2020
- Caicedo, C. O., Balmaseda, E. C. y Proaño, S. J. (2015). Programación del Riego del banano (*Musa Paradisiaca*) en finca San José, Los Ríos, Ecuador. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24(2), 18-22.
- Cairo, P. (2003). Fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica del trópico. CD Biblioteca UCLV.
- Calderón, B. S.P. (2014). *Evaluación del recurso hídrico en la eficiencia del desarrollo de los cultivos en cinco barrios de Tumbaco, Pichincha*. (Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador). <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3242/1/T-UCE-0004-100.pdf>

- Carrazón, J.A. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. FAO. <https://www.fao.org/3/at787s/at787s.pdf>
- Campos, A.D.F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico [en línea]*. Ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://books.google.com/cu/books?id=tkUYqdoAac8C>, [Consulta: 19 de junio de 2023].
- CEBAS-CSIC. (2014). *Guidelines on Best Irrigation Management Practices for citrus production in the Mediterranean Area*. SIRRIMED. Sustainable use of irrigation water in the Mediterranean Region. http://www.sirrimed.org/catalogo/d_2_6_2014-mar-31.pdf
- Chacón, A. D. C. (2016). *Manejo Agronómico de la Passiflora edulis Sims bajo riego por goteo en Virú, La Libertad*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo). <http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/7479/CHACON%20AGREDA%20Deyssi%20Consuelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chaterlán, D. Y., Hernández, G., Paredes, P., Martínez, V. R., López, S.T. y Pereira, L.S. (2012). Estimación de los coeficientes de cultivo de la papaya para mejorar la programación del riego en el sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 37-42.
- Chávez, R. E., González, C. G., González, B. J.L., Dzul, L. E., Sánchez, C.I., López, S.A. y Chávez, S.J.A. (2013). Uso de estaciones climatológicas automáticas y modelos matemáticos para determinar la evapotranspiración. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(4).
- Chow, V., Maidment, D. y Mays. L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Editorial Mc Graw-Hill.
- CIMMYT. (2013). *Infiltración. Guía útil para comparar las prácticas y manejo del cultivo*. Inst. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://1library.co/document/q53rvdwz-infiltraci%C3%B3n-gu%C3%ADa-%C3%BAtil-comparar-pr%C3%A1cticas-manejo-cultivo.html>
- Claro, F. (1991). *Balance Hídrico*. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/011636/BALANCEHIDRICO.pdf>
- CONGOPE. (2016). *Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador*. Hablemos de Riego. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Consejo Provincial de Manabí. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de Manabí 2015-2024*, Provincia del Milenio.
- Daza, T.M.C., Hernández, F.F. y Triana, F.A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7189-7200. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=SO304-28472014000100006



- De Santa O. M. y De Juan, V. *Agronomía del Riego*. España. Editorial Mundiprensa. ISBN: 9788471144256. (1993)
- Duarte, C. E., Zamora, E. y María, L. (2012). Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de la cebolla. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(4), 42-47. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93223755007.pdf>
- Ecuador en cifras. (2010). *Fascículo provincial Manabí*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/manabi.pdf>
- Ecuador en cifras. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-ESPAC 2021*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas-agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf
- ESPAC. (2020). Superficie con uso agropecuario: Comprende el área ocupada por cultivos permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales.
- FAO. (2006). Evapotranspiración de los cultivos. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 56. <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>
- FAO. (2009a). *Guía para la Descripción de Suelos*. Cuarta Edición. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2009b). *Programa de cómputo CROPWAT 8.0*. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- FAO. (2022a). *Ecuador en una mirada*. <https://www.fao.org/ecuador/fao-en-ecuador/ecuador-en-una-mirada/es/>
- FAO. (2022b). *Textura del suelo*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (1960). Lluvia efectiva en agricultura de regadío. *Estudio FAO Riego y Drenaje*, 25. <http://www.fao.org/3/x5560e/x5560e00.htm#Contents>
- Figueredo, G. D., Rodríguez, V. M. D.O., Barcellos, A. D., Fabiano, L. P., Dos Santos, M. G. y De Faria T. R. (2016). Desempenho de métodos na estimativa de evapotranspiração de referencia para o estado da Paraíba, Brasil. *Irriga, Botucatu*, 21(3), 481-490.
- Galápagos reise (s.f.). https://www.galapagos-reise.com/TurismoEcuador/Mapa_Manabi.html
- Geoportal (2012). Mapas temáticos provinciales. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/descargas/geoinformacion/mapas-tematicos-provinciales/>
- Gobierno Provincial de Manabí. (2021). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Manabí 2030. https://www.manabi.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/I_PDOT_Manabi_2030_compressed.pdf
- González, S. L., Jorge, P. M., Martínez, R. J. y Marrero, N. (2003). *Hidrología Superficial para ingenieros*.

- Hernández, J.A., Vera, M.L., Naveda, B.C.A., Guzmán, C.A.M., Vivar, A.M., Zambrano, T.R., Mesías, G.F., Ormaza, K., León, A.R.V. y López, A.G.A. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50-56.
- INEC. (2019). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial Manabí 2030.
- ISO 11272. (2017). Soil Quality- Determination of dry bulk density.
- ISO 15886-3 (International Organization for Standardization). (2021). *Agricultural irrigation equipment, Sprinklers. Parte 3: Characterization of distribution and test methods*. Art. ISO 15886-3. <https://www.iso.org/standard/78122.html>
- Israelsen, O. W. y Hansen, V. E. (1985). *Principios y aplicaciones del riego* (2a. ed.). Editorial Reverté. <https://elibro.net/es/lc/u/leam/titulos/172166>
- Keller, J. y Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold.
- Kostiakov, A.N. (1932). The dynamics of the coefficients of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purpose of amelioration. *Society of Soil Science*, 14, 17-21.
- Landini, A.M., Martínez, D., Días, H., Sosa, E., Agnes, D. y Sainato, C. (2007). Modelos de Infiltración y Funciones de Pedotransferencia aplicados a suelos de distinta textura. *Ciencias del Suelo*, 25(2), 123-131.
- Levy, Y. y Boman, B. (2003). *Water Management in Citrus*. https://www.researchgate.net/publication/293334460_Water_Management_in_Citrus
- Leyva, S.L., Masaguer, A. y Baldoquin, A. (2014). Efecto de sistemas de labranza en luvisoles dedicados a la producción de pastos. *Pastos y Forrajes*, 37(4), 408-412.
- López, A., Enrique, J., Díaz, V. T., Watts, T. C., Rodríguez, J. C., Castellanos, V. A. E., Partida, R., L., Velázquez, A. y T. de J. (2015). Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de Chile Bell en el Valle de Culiacán, México. *Terra Latinoamericana* 33(3), 209-219.
- MAE. Ministerio de Ambiente de Ecuador. (2016). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/GIDDACC.pdf>
- Manzaba, C. J. R. (2017). Estudio del Régimen de Evapotranspiración del cultivo de referencia aplicado a la programación de riego para la provincia Manabí. (Tesis de pregrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí).
- Medina, M. N. F. (2002). Comportamiento de las Precipitaciones en la Zona Crítica de Ceballos, Cuba. *Interciencia*, 27(11). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002001100011#tab3
- Mellado, V. A., Volke, H. V., Tapia, V. M. y Sánchez, G. P. (2005). Respuesta del Papayo al riego y a la fertilización N-P-K en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 134-144.



- <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311093004>
- Merriam, J.L. y Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. Utah State University.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2015).
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, SIGTIERRAS. (s.f.). Mapa de órdenes de suelos del Ecuador Memoria Explicativa.
- MITECO. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). Tipos de sequía. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/Observatorio_Nacional_Sequia_1_1_tipos_sequia.aspx
- Motato, A. N. y Pincay, M. J. (2015). Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. *Revista La Técnica*, 14, 6 – 23.
- OMM y AMA Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua (2016). Manual de indicadores e índices de sequía (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016#:~:text=Los%20indicadores%20o%20los%20%20C3%ADndices,localizaci%C3%B3n%2C%20duraci%C3%B3n%20y%20desarrollo%20cronol%C3%B3gico
- Ortega, C. L.J. (s.f.). Selección y Manejo de Equipos de Riego por Aspersión. *Boletín Técnico*, 216. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/31815/NR17720.pdf?sequence=1>
- Pereira, L.S., Trout T.J. (1999). Irrigation methods. En: van Lier HN, Pereira LS, Steiner FR (Eds.). *CIGR Handbook of agricultural engineering. vol. I: Land and water engineering*. Michigan: ASABE. pp. 297-379.
- Pereira, L.S., De Juan, V.J.A., Picornell, M.R. y Tarjuelo, J.M.B. (2010). *El Riego y sus Tecnologías*. Editorial: Centro regional de estudios del agua, Universidad de Castilla La Mancha. https://www.researchgate.net/publication/272171215_El_riego_y_sus_tecnologias
- Pérez, L. R., Cabrera, E. E., Hinostroza, G. M. I. y Manzaba, C. J.R. (2018a). El Régimen de Riego para Cultivos en Manabí, Ecuador: estudio climatológico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(1).
- Pérez, L.R., Cabrera, E.E.; Cedeño, C.G., Delgado, A.H.E., Mendoza, B.A.R. y Cávez, G.L. (2018). El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: estudio edafológico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(4), 1-8. <http://opn.to/a/LVAaK>
- Pérez, L.R. y Domínguez, G. J. (2019). El régimen de riego para cultivos en Manabí, Ecuador: propuesta para cinco cultivos permanentes. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(4), 63-72. <http://opn.to/a/4UHmi>

- Raes, D. (2013). *Frequency Analysis of rainfall data*. Department of Earth and Environmental Sciences, Katholieke Universiteit Leuven. <http://indico.ictp.it/event/a12165/session/21/contribution/16/material/o/o.pdf>
- Rodríguez, V. M. (2021). *Erradicación del Hambre en Ecuador desde la Promoción de la Agricultura Familiar Campesina*. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19116/Tesis_Melanie_Rodr%c3%adguez_Vera.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Romero, J. y Proaño, J. (2008). Evaluación del Efecto del Riego por Goteo y Microaspersión en la productividad del cacao (*Theobroma cacao*) CCN 51 en un suelo Ustifluent típico en la zona Chongón- Península de Santa Elena. Provincia del Guayas. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/12.-Jorge-Romero.-Riego.pdf>
- Sánchez, L. D., Latorre, J. y Díaz, J. E. (2011). *Aplicación de la tecnología de filtración en múltiples etapas con sistemas de riego localizado de alta frecuencia*. Programa Editorial Universidad del Valle. <https://elibro.net/es/ereader/uleam/175407?page=26>.
- Santos, K. S., De Almeida, A., Da Silva, V. P. P., Da SILVA, L. S., Coelho, M. A. F. y Holzapfel, E. H. (2018). Balanço de Água em solo cultivado sob pomar adensado de Laranja 'Pêra' enxertada em diferentes porta-enxertos. *Irriga, Botucatu*, 23(2), 235-248.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México. (2002). *Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis, ser. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000*.
- Shaxson, F. y Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal El significado de la porosidad del suelo*. FAO. Roma. <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>
- Sousa, P. F. F., Dal, P. E., Vázquez, M. R. J., Sánchez, R.R. M., Orellana, G. M. A. y Escobedo, J. F. (2016). Estudio Comparativo da Evapotranspiracao de Referência entre localidades no estado de Sao Paulo e na provincia de Habana. *Botucatu*, 21(2), 384-397.
- Tarjuelo, M. J. (2005). *El riego por aspersión y su tecnología* (3a. ed.). Editorial Mundiprensa.
- Thornthwaite. (1955). *Balance Hídrico: el método de Thornthwaite*. https://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2018-10-29BH_Practicas.pdf
- Toro, T. A. M., Arteaga, R.R., Vázquez, P. A. y Ibáñez, C. A. (2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VII(6), 105-122.
- Torres, H. A. y Vásquez, V. R. (2013). Prospección de la estimación de la evapotranspiración de referencia, bajo las condiciones del valle de Chaca, Arica-Chile. *IDESIA*, 31-2. <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v31n2/art04.pdf>
- Twenergy. (13 de Enero de 2020). *El déficit hídrico*. <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/como-ahorrar-agua/el-deficit-hidrico-1392/>



- USDA. United States Department of Agriculture. (2017). *Soil Survey Manual*. Agriculture Handbook, 18. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>
- Usmonov, M. y Gregoretti, F. (2017). *Diseño e implementación de un control inalámbrico basado en LoRa para sistemas de riego por goteo*. Conferencia: 2017 2ª Conferencia Internacional sobre Robótica e Ingeniería de Automatización (ICRAE). DOI: 10.1109/ICRAE.2017.8291389. https://www.researchgate.net/publication/323205314_Design_and_implementation_of_a_LoRa_based_wireless_control_for_drip_irrigation_systems
- van Veenhuizen, R. (2000). *Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Experiencias en América Latina*. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas, 13. <https://www.fao.org/3/ai128s/ai128s00.pdf>
- Vásquez, V.A., Vasquez, R.I., Vásquez, R.C. y Cañamero, K.M. (2017). *Fundamentos de la Ingeniería de Riegos*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>
- Velasco, I., Ochoa, L. y Gutiérrez, C. (2005). *Sequía, un problema de perspectiva y gestión*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002
- Villazón, G. J. A., Noris, N. P. y Martín, G. G. (2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia*, 39(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000200085>
- Vinuesa, R. J. (2009). *Diseño de un plan de manejo de riego para los cultivos de cítricos en El Zamorano. Honduras*. (Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano). <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/403/1/T2860.pdf>
- Volverás, M.B., Amézquita, C.E. y Campo, Q.J.M. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 361-377. DOI: 10.21930. <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n3/v17n3a05.pdf>
- Walker, W.R. (1989). Guía para el diseño y evaluación de sistemas de Riego Superficial. Estudio FAO: Riego y Drenaje 45.
- WWF. World Wildlife Found. (2022). *Water scarcity*. <https://www.worldwildlife.org/threats/water-scarcity>
- Zazo, S. T. (2019). La Normalización de los equipos y Sistemas de riego. Centro Nacional de Tecnología de Regadíos (CENTER), TRAGSA. https://www.mapa.gob.es/images/es/ponencia2_tcm30-523108.pdf

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
2023





Ulearn
UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

2024

ISBN: 978-9942-827-94-4



9789942827944