

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS Y REVALORIZACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO
TRADICIONALES ANDINOS, PARA APLICACIÓN EN LA
COMUNIDAD SANTA ROSA DE LA PARROQUIA AYORA,
CANTÓN CAYAMBE**

**TESIS DE GRADO, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTA:

BOLÍVAR ANDRES ERAZO MALDONADO
bolivar.erazo@gmail.com

DIRECTOR: ING. CÉSAR NARVÁEZ
cnarvaez@uio.satnet.net

Quito, marzo 2008

DECLARACIÓN

Yo, Bolívar Andrés Erazo Maldonado, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

BOLÍVAR ANDRÉS ERAZO MALDONADO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Bolívar Andrés Erazo Maldonado, bajo mi supervisión.

ING. CÉSAR NARVÁEZ

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de la presente investigación, de manera especial a:

- La Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Ing. César Narváez, director, motivador y apoyo importante del presente documento.
- Ing. Luis Jaramillo, Dra. Ana Balarezo, profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- A la Comunidad Santa Rosa de Ayora, su dirigencia y habitantes.
- Biblioteca de la FAO – Quito.
- Corporación para la Investigación, capacitación y apoyo técnico para el manejo sustentable de los ecosistemas tropicales, ECOPAR.
- A mis queridos y desinteresados amigos, en especial a Cecilia Molina, Eduardo Morán, Ricardo Moreano y Paco Valladares.

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo entregado hasta esta etapa de mi vida, se lo dedico completamente a mis padres, hermanos y a la memoria de mi abuela, fuente de energía sentimental para recarga del espíritu para caminar por todas las pendientes, superficies y condiciones del camino de la vida.

A la gente que conserva el valioso valor del apoyo, ayuda y vida en comunidad, que aún confían en el trabajo manual de la tierra y que mantienen contacto real con el medio natural. Se dedican los resultados generados en este documento, en retribución a los importantes saberes que me han podido transmitir.

A mis amigos de siempre y para siempre: Fernando Pazmiño, Eduardo Morán, Jhonny Solís, Franklin Torres, Ricardo Moreano y Santiago Salazar.

CONTENIDO

Listas de tablas.....	XI
Listas de figuras.....	XIII
Simbología y siglas.....	XV
Resumen.....	XVI
Summary.....	XVII
Presentación.....	XVIII

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Objetivos.....	2

CAPITULO 2

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES DEL RIEGO.....	3
2.1 El riego.....	3
2.1.1 Objetivos principales del riego.....	4
2.1.2 Factores para la elección del método del riego.....	5
2.1.3 Programación del riego.	6
2.1.4 Frecuencia de riego.....	7
2.1.5 Rendimiento o eficiencia del riego.....	7
2.2 Relaciones agua y cultivos.....	8
2.2.1 El agua en la planta.....	8
2.2.2 La absorción.....	8
2.2.3 Relación agua y sistema radicular de las plantas.	9
2.3 Efectos del clima sobre las necesidades de agua de cultivos.	9
2.3.1 La evapotranspiración.	10
2.3.1.1 Evapotranspiración de Referencia (ET _o).	10
2.3.1.2 Métodos para la estimación de la evapotranspiración de referencia.....	11
2.3.1.2.1 Método Blaney Criddle.	11

2.3.1.2.2	<i>Método de la Radiación</i>	13
2.3.1.2.3	<i>El Método de Penman Modificado</i>	15
2.3.1.3	Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	17
2.3.1.4	El Coeficiente de Cultivo (Kc).....	18
2.3.2	Precipitación efectiva.....	19
2.4	Relaciones agua y suelo agrícola.....	21
2.4.1	Propiedades básicas del suelo agrícola.....	22
2.4.1.1	Textura.....	22
2.4.1.2	Estructura.....	22
2.4.1.3	Porosidad.....	23
2.4.2	Movimiento del agua en el suelo.....	24
2.4.3	Infiltración del agua en el suelo.....	24
2.4.4	La escorrentía superficial.....	25

CAPITULO 3

3. SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL PROPUESTOS Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA PARA IMPLEMENTACIÓN.....	27
3.1 Historia de sistemas tradicionales de riego en Cayambe.....	28
3.2 Estructuras tradicionales de abastecimiento de agua que se usaron en la zona norte de Cayambe.....	29
3.2.1 Las acequias.....	29
3.3 Descripción de las estructuras de cultivo y riego tradicional para parcelas.....	31
3.3.2 Los camellones en Cayambe.....	33
3.3.3 Las terrazas.....	36
3.4 Descripción de las condiciones de la comunidad santa rosa de ayora.....	40
3.4.1 Factor social.....	40
3.4.2 Infraestructura de servicios.....	41
3.4.3 Factor biótico.....	42
3.5 Ubicación geográfica de los puntos de interés en la comunidad.....	42

3.6 Descripción de los recursos para producción agrícola de la zona.	44
3.6.1 Recurso suelo.	44
3.6.2 Recurso agua y su gestión.	46
3.6.3 Condiciones climáticas.	50
3.7 Condiciones actuales de la comunidad Santa Rosa de Ayora entorno a la agricultura.	51
3.8 Parcelas para implementación de sistemas de cultivo y riego tradicional.	52
3.9 El conocimiento y compromiso de la comunidad entorno a los sistemas de riego tradicional.	54

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS HÍDRICO, DE PRÁCTICAS COMUNES DE CULTIVO Y DE SISTEMAS TRADICIONALES	56
4.1 Manejo del agua de los sistemas de cultivo y riego tradicionales.	57
4.1.1 Manejo de agua en camellones.	58
4.1.2 Las terrazas.	58
4.1.3 Albarradas.	59
4.2 Balance hídrico agrícola para los cultivos de la zona.	60
4.2.1 Balance hídrico con aplicación de sistemas de riego tradicional.	63
4.2.2 Estimación de la ocurrencia de precipitación mensual (P).	63
4.2.3 Estimación de escorrentía superficial (Es) debido a prácticas de cultivo comunes de la comunidad.	68
4.2.4 Precipitación efectiva (Pef) con prácticas de cultivo comunes que usa la comunidad.	70
4.2.5 Estimación aproximada del almacenamiento de agua en el suelo (Alm).	72
4.2.6 Estimación del consumo de agua de los cultivos, por medio de la evapotranspiración del cultivo (ETc).	75
4.2.7 Cálculo de las necesidades mensuales de riego, de los cultivos tradicionales de la comunidad.	101
4.3 Cálculo de valores de balance hídrico para planificación de riego.	108

4.3.1 Balance hídrico con el uso de prácticas agrícolas comunes de la zona del proyecto.....	112
4.3.2 Balance hídrico con el uso de sistemas de riego del tipo camellones y terrazas.....	115

CAPITULO 5

5. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONAL PARA USO EFICIENTE DEL AGUA DE LLUVIA..... 121

5.1 Identificación de la intensidad de precipitación para la zona.	121
5.2 Tasa de infiltración en el suelo de la zona.....	124
5.3 Construcción de camellones para cultivo y manejo del agua de oferta natural.....	125
5.3.1 Propuesta de diseño de camellones.....	127
5.4 Construcción de terrazas para manejo del agua de oferta natural.....	133
5.4.1 Propuesta de diseño de terrazas.....	133
5.5 Diseño del sistema conjunto de terrazas y camellones.	141
5.6 Diseño de un sistema de albarradas.	143
5.7 Costos de construcción de las propuestas.	153

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 156

6.1 Conclusiones.	156
6.2 Recomendaciones.	161

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 164

ANEXOS.....	169
ANEXO 1: Gráficos de ajuste de la ETo de acuerdo a parámetros climáticos específicos.....	170
ANEXO 2: Mapas de ubicación de puntos de interés del proyecto.....	173
ANEXO 3: Datos climáticos de tablas de valores de utilidad para cálculos de evapotranspiración.....	176
ANEXO 4: Fotografías.....	185

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

TABLA 2.1: Clasificación de eventos de precipitación.....	20
TABLA 3.1: Ubicación de los puntos de interés del proyecto.....	43
TABLA 3.2: Descripción de subclases del suelo tipo C.....	45
TABLA 3.3: Caudal de la acequia “La Compañía”	48
TABLA 3.4: Caudal de la acequia Tabacundo	48
TABLA 3.5: Características de las parcelas para construcción de sistemas de riego tradicional.....	54
TABLA 4.1: Precipitación mensual de años con registros (mm/mes).....	66
TABLA 4.2: Escorrentía ocasionada por el uso de prácticas agrícolas comunes	70
TABLA 4.3: Valores mensuales de precipitación efectiva usando prácticas comunes de cultivo	71
TABLA 4.4: Valores estimados de almacenamiento de agua en el suelo.....	74
TABLA 4.5: Fracciones de tiempo sin precipitaciones.....	75
TABLA 4.6: Almacenamiento de agua aprovechable del suelo	75
TABLA 4.7: Porcentaje de horas diurnas para la latitud 0° Ecuador	77
TABLA 4.8: Valores de ETo (mm/mes) método Blaney Criddle.....	77
TABLA 4.9: Valores de ETo (mm/día) método Blaney Criddle	78
TABLA 4.10: Radiación extraterrestre (Ra) para latitud 0°	81
TABLA 4.11: Numero de días de cada mes.....	82
TABLA 4.12: Índice de ponderación para cada temperatura.....	83
TABLA 4.13: Velocidad promedio anual del viento en la zona de estudio.....	85

TABLA 4.14: Valores de ETo (mm/día) método de la Radiación.....	86
TABLA 4.15: Valores de ETo (mm/mes) método de la Radiación	87
TABLA 4.16: Correcciones de temperatura f(T).....	89
TABLA 4.17: Presión saturante de vapor en función de la temperatura media.....	91
TABLA 4.18: Presión de vapor en función de la temperatura de punto de rocío	92
TABLA 4.19: Valores de ETo (mm/día) método de Penman modificado.....	94
TABLA 4.20: Valores de ETo (mm/mes) método de Penman modificado	96
TABLA 4.21: Rango de estimación de los métodos utilizados	100
TABLA 4.22: Duración del periodo siembra - cosecha de cultivos	102
TABLAS 4.23: Coeficientes de cultivo para duración de crecimiento de 7 y 8 meses del maíz suave.....	103
TABLA 4.24: Coeficientes de cultivo para duración de crecimiento de 6, 7 y 8 meses del trigo y cebada.....	104
TABLA 4.25: Coeficientes de cultivo para duración de crecimiento de 5, 6 y 7 meses de la papa.....	105
TABLA 4.26: Valores de evapotranspiración de cultivo, ETc maíz	106
TABLA 4.27: Valores de evapotranspiración de cultivos, ETc trigo y cebada.....	106
TABLAS 4.28: Valores de evapotranspiración del cultivo, ETc papa	107
TABLAS 4.29: Balance hídrico para prácticas comunes de cultivo	112
TABLAS 4.30: Balance hídrico para prácticas de cultivo en camellones y terrazas	116
TABLA 5.1: Ecuaciones representativas de la zona 16	122
TABLA 5.2: Valores de $I_{d_{TR}}$	123
TABLA 5.3: Intensidad de lluvia en mm/h, duración 24 horas, zona 16.....	123
TABLA 5.4: Precipitación acumulada en 24 horas, zona 16.....	124
TABLA 5.5: Tipo de camellos propuestos para construcción.....	128

TABLA 5.6: Volumen total de canales en parcela con camellones.....	131
TABLA 5.7: Dimensiones de canaletas del sistema de terrazas.....	135
TABLA 5.8: Dimensiones y volumen de captación de canales cabecera	138
TABLA 5.9: Estimación de escorrentía para construcción de albarradas	145
TABLA 5.10: Volumen de captación de albarradas.....	146
TABLA 5.11: Costos generales de todos los sistemas propuestos	154

FIGURAS

FIGURA 2.1: Curva demostrativa de coeficiente de cultivo K_c	19
FIGURA 2.2: Tamaños comparativos de la arena, limo y arcilla.....	22
FIGURA 2.3: Tipos de estructuras de suelos.....	23
FIGURA 3.1: Representación de una albarrada tradicional y sus componentes.....	32
FIGURA 3.2: Reservorios de acumulación del turno de agua de la acequia Tabacundo.....	49
FIGURA 4.1: Esquema general de un balance hídrico agrícola.....	62
FIGURA 5.1: Tipos de camellones distribuidos en la parcela.....	128
FIGURA 5.2: Vista apreciativa de distribución de camellones	129
FIGURA 5.3: Camellones de siembra de montículos continuos.....	129
FIGURA 5.4: Camellones de siembra con canal entrante	130
FIGURA 5.5: Plataformas y canaletas del sistema de cultivo en terrazas.....	136
FIGURA 5.6: Vista apreciativa del sistema de terrazas	140
FIGURA 5.7: Vista apreciativa del sistema conjunto de terrazas y camellones.....	142

FIGURA 5.8: Albarradas de cabecera para captación del volumen de escurrimiento.....	147
FIGURA 5.9: Parcela para construcción de albarradas.....	148
FIGURA 5.10: Estructuras de captación y control de escorrentía.....	150
FIGURA 5.11: Parcela con albarradas y estructuras de control de escorrentía	151

SIMBOLOGIA Y SIGLAS

ET _o	Evapotranspiración de referencia.
ET _c	Evapotranspiración del cultivo.
RH _{min}	Humedad relativa mínima.
RH _{med}	Humedad relativa media.
n	Número de horas reales diarias.
N	Número máximo de horas de posible insolación.
U	Velocidad del Viento.
W	Coefficiente de ponderación.
R _a	Radiación extraterrestre.
R _s	Radiación solar.
R _n	Radiación neta.
R _{ns}	Radiación neta de ondas cortas.
R _{nl}	Radiación neta de ondas largas.
K _c	Coefficiente de cultivo.
E _s	Escurrimiento superficial.
d.c	Cronología después de Cristo.
a.c	Cronología antes de Cristo.
UNOPAC	Unión de Organizaciones Populares de Ayora-Cayambe.
I _n	Irrigación de aporte natural por lluvias.
P _{ef}	Precipitación efectiva.
Al _m	Almacenamiento de agua en el suelo.
CN	Número de curva para representar el escurrimiento superficial.
S	Potencial máximo de retención de agua en el suelo.
e _a	Presión saturante de vapor.
e _d	Presión de vapor.
SCS	Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.
Desv. Est.	Desviación Estándar.
T _{pr}	Temperatura de punto de rocío

RESUMEN

El presente proyecto, se ha encaminado a revalorizar y resaltar los beneficios hídricos, ambientales y agrícolas que pueden lograr los sistemas de cultivo y riego tradicional antiguo del tipo camellones, terrazas y albarradas. Para lograr una idealización de su estructura básica, se ha usado la información histórica existente de estos sistemas y en función de ésta; se proponen diseños propios en función de las dimensiones levantadas en terrenos específicos para los que se diseña la propuesta. Así, de una manera práctica, se puede probar sus verdaderas ventajas en términos de conservación del suelo, manejo adecuado del agua de lluvia y principalmente en productividad de cultivos.

Por otro lado, se ha logrado una estimación teórica de las ventajas de estos sistemas, que evitan la escorrentía que se genera usando prácticas comunes de cultivo, del tipo surcos y siembra en contornos, utilizados predominantemente en la Comunidad Santa Rosa de Ayora del Cantón Cayambe. En el diseño de camellones y terrazas se propone la construcción de canales y canaletas respectivamente, que tendrán las dimensiones adecuadas para captar toda el agua lluvia de los eventos de alta intensidad, así evitar la escorrentía superficial, para mantener toda el agua de aporte natural en condiciones de disponibilidad para el uso de los cultivos. El sistema de albarradas, se lo propone como reservorios de cabecera interconectados, para retención de escorrentía erosiva generada por terrenos de la zona de mayor altura con compactación por pastoreo excesivo. Se lo ha propuesto justamente para frenar la erosión identificada en el terreno, sobre el que se ubicarían, en conjunto se propone el uso de un tipo de estructuras de control de escorrentía interna, si se planifica el cultivo sobre este terreno.

En general, los diseños propuestos, pueden lograr el doble objetivo de evitar la erosión de los terrenos y minimizar los déficits hídricos para los cultivos, con lo que se podría lograr resultados de incrementos de productividad y conservación del recurso suelo agrícola. Si se construyen las estructuras propuestas, resta probar nuevos resultados sobre éstas, especialmente en términos de productividad agrícola, para relevar, justificar y extender su uso.

SUMMARY

The purpose of this project is to reassess and to emphasize the water, environment and agricultural benefits which can be obtained with the old traditional cultivation and irrigation systems, such as: “camellones”, “terraces” and “albarradas”. Its historical data have been used to idealize its basic structure in order to propose adequate designs based on the considered dimensions of particular lots and estimated rain intensity which might be produced in Santa Rosa de Ayora Community zone.

This proposal will make easier for the community the decision to built these irrigation systems; so once they will try them, they will prove that these systems will be useful to obtain new results and they will let them test its true advantages regarding soil conservation, adequate rain water management and mainly cultivation productivity.

The advantages theoretical estimation of using the cultivation and irrigation traditional systems has been obtained for this proposal and it clearly shows that these systems avoid hillside erosion while the commonly used cultivation systems in the community are furrow and outline sowing which usually cause hillside erosion. As for “camellones” and “terrazas” design, it is proposed a construction of channels and water gutters, for each one of them, which will have the right dimensions to captivate rain water of high intensity events in order to avoid the hillside erosion that will get out of the lots limits. The designed channels will keep stored the avoided hillside erosion; it can be kept in the right conditions to let it infiltrate laterally toward the cultivation mounds on the “camellones” and the cultivation platforms on the “terrazas”. The “albarradas” system has been proposed as interconnected front water reservoirs to retain the hillside erosion from the lots of a highest zone with compression caused by excessive shepherding. It has been proposed to stop the identified hillside erosion of the lots where it is located, besides it is proposed the use of certain type of internal hillside erosion control structures, if the cultivation in that lot might happen.

PRESENTACIÓN

Los sistemas de riego tradicional, ancestral o antiguos documentados por investigaciones arqueológicas e históricas, no solo son piezas de museo, sino que se han catalogado como laboratorios vivos de tecnología. Se han creado de la directa interacción entre las sociedades prehispánicas, su entorno natural y sus necesidades alimentarias; una necesidad tan necesaria que pudo originar la creación de sistemas eficientes en el uso del agua de lluvia, de la utilización de abonos orgánicos alternativos, de la conservación de los suelos productivos para evitar su desgaste o pérdida por erosión. Además deberían alcanzar producciones agrícolas importantes, todo esto emplazado y adaptado para las variadas condiciones de topografía de la zona andina.

La presente investigación, se estructura de manera organizada, iniciando con la revisión teórica y conceptual de conceptos básicos de planificación del riego, con los recursos agua y suelo, los beneficios de usar sistemas de camellones y terrazas para el cultivo con el eficiente uso del agua lluvia. La obtención de un balance hídrico, para verificar la capacidad de reducción del déficit hídrico que logran los sistemas mencionados, al controlar efectivamente la escorrentía superficial. Finalmente, se proponen los diseños para la construcción de los tres sistemas mencionados, analizando la intensidad de lluvia que podría ocurrir en la zona, para proponer adecuadamente las dimensiones de las estructuras de captación de agua, adicionando ideas de mi autoría, sin modificar el modelo real que debieron tener estos sistemas.

Se han usado métodos adecuados, para la estimación de los valores que han sido incluidos; tanto en el balance hídrico agrícola de los cultivos de la zona, como en la propuesta de diseño de los tres sistemas de interés. Se han usado los datos de los registros climáticos, para estimar la evapotranspiración por el método de Penman modificado, teniendo en cuenta las investigaciones y criterios de varias publicaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Para la estimación de los valores de escorrentía, se ha utilizado el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS). Para el diseño de camellones, terrazas y albardas se utiliza el Estudio de

Intensidad de Lluvias del Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con el fin de lograr diseños adecuados de captación del agua lluvia de oferta natural, para efectivamente lograr la minimización del proceso de escorrentía y dar seguridad de funcionamiento hídrico a los canales, canaletas y reservorios y a las zonas de cultivo, en cada una de las tres estructuras de análisis.

La creación de éste proyecto, se constituye en una manera de devolver el legado ancestral del riego Andino a los lugares, realidades y sociedades en las que fueron concebidas. Con ésta propuesta de reconstrucción, más los resultados que arrojen una vez contruidos, experimentados con más detalle y con nuevos puntos de vista, se podrían considerar a éstos sistemas, como alternativa para la producción agrícola sustentable en el uso del recurso agua, para la realidad Andina actual.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES.

Los sistemas de riego actuales, construidos en el país, con fines de generar beneficios para zonas con potencial agrícola, en zonas rurales especialmente, han dado resultados superficiales, o poco notables, de un incremento en la producción y beneficios económicos para las comunidades indígenas, dedicadas a ésta actividad como su medio de subsistencia. Estos proyectos poco o deficientemente han visualizado en sus diseños y concepción, la aplicación óptima del agua dentro de las parcelas, impidiendo así, lograr un verdadero potencial de uso eficiente de los recursos agua y suelo. Tampoco han considerado, los aspectos de conservación en el tiempo de la calidad de los suelos productivos, ni los conocimientos locales de la zona y las formas organizativas existentes, que es un elemento determinante, por medio del cual se gestionaría efectivamente el sistema.

Del análisis teórico, de sistemas de riego tradicionales ancestrales, se puede deducir, que sus formas y estructuras surgieron a través de muchos años de prácticas agrícolas, que acumularon una importante carga cultural, de conocimientos originados de la práctica, para lograr la supervivencia comunitaria de los pueblos andinos. No se puede negar ni subestimar todo el conocimiento ancestral, en el diseño de sistemas de riego eficientes, que consideraban de una manera integral, los aspectos y uso adecuado del agua de lluvias, para la mejor productividad.

Los sistemas de camellones, terrazas, albarradas y demás sistemas antiguos, son una muestra documentada, de la existencia de sistemas que fueron capaces de alimentar con productos agrícolas, al menos diez millones de personas en los imperios prehispánicos. Por lo tanto, es notable que no eran simplemente formas ineficientes e inadecuadas de producción, que además no exigían capital, pero si

mucha mano de obra, que a la vez, consideran componentes importantes de inteligencia e intuición, de una concepción holística y un conocimiento profundo de los factores, elementos y procesos vitales, que intervienen en un modelo de producción agrícola.

1.2. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Lograr una propuesta aplicable y específica para la comunidad Santa Rosa de Ayora del Cantón Cayambe, usando sistemas de cultivo y riego tradicional antiguo, que logren el manejo adecuado del agua de aporte natural de las lluvias de la zona.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar por medio de un balance hídrico comparativo, la forma de uso del agua, con las prácticas de cultivo actuales comunes en la comunidad y la que se podría lograr, con los sistemas de cultivo de terrazas y camellones, para justificar estos últimos métodos, como los mejores administradores del agua, para mantenerla disponible para el uso de los cultivos.
- Lograr diseños que motiven la construcción de sistemas de camellones, terrazas y albarradas en terrenos idóneos, para promover una aplicación real en la comunidad y expansión local de su uso, en función de los beneficios que puedan generar.
- Utilizar métodos adecuados y ajustados a la información disponible de la zona, para poder estimar valores de evapotranspiración y escurrimiento, que servirán para determinar los balances hídricos agrícolas de cada práctica y tipo de cultivo. Además considerar la intensidad de precipitaciones en la zona, para proponer diseños adecuados, que funcionen en las condiciones climáticas previstas.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES

DEL RIEGO

En los estudios de sistemas de riego, es fundamental reconocer las propiedades e interacciones de los diferentes elementos que lo conforman. Los recursos más importantes: el agua, suelo y sus interrelaciones, crean las condiciones adecuadas para el crecimiento de un cultivo. Con la comprensión de los procesos, las funciones individuales y el sistema, se puede conceptualizar los fenómenos y desarrollar una propuesta, que mantenga un buen nivel de funcionamiento en un sistema de riego.

El tipo de sistemas de riego, que utilizó la población ancestral andina, debió lograr el mejor uso del agua de aporte natural, para maximizar la producción agrícola, sobre las estructuras y formas de los sistemas de riego tradicionales, para alimentar a los pobladores de las comunidades.

2.1 EL RIEGO.

Es la aplicación oportuna, controlada y uniforme de agua a un perfil de suelo, para reponer en éste, el agua consumida por un cultivo, considerando además los factores y el desarrollo fisiológico de la vegetación existente. (12)

El suministro de agua al suelo, ya sea por riego artificial o natural por lluvia, es indispensable para el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos con fines alimenticios. La disponibilidad natural de agua para riego, la constituye la ocurrencia de lluvias por las condiciones climáticas de la zona, y se debe planificar el riego artificial si se desea cultivar sin depender del régimen de precipitaciones, especialmente en la época en donde el aporte de lluvias es

limitado o nulo y los consumos de agua, determinados por el proceso de evapotranspiración, son muy altos.

Se deben considerar también las propiedades del suelo, la dinámica del agua desde el medio exterior hacia la planta, la dinámica dentro de la planta y desde la planta hacia el medio exterior, de cuyo equilibrio o balance hídrico dependen la gran cantidad de reacciones fisiológicas vitales.

2.1.1 OBJETIVOS PRINCIPALES DEL RIEGO.

Uno de los principales objetivos de la gestión de un sistema de riego es maximizar los rendimientos de las cosechas por volumen de agua consumida por el sistema, asegurando que se cubran las necesidades de agua y minimizando al mismo tiempo las pérdidas de agua.

El agua suministrada por el riego sirve para:

a) Cubrir las necesidades de agua de las cosechas. La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define el riego como: “El volumen de agua necesaria, para compensar las pérdidas de agua originadas por la evapotranspiración, en una cosecha sana que crece en las parcelas de cultivo, sin restricciones vinculadas al suelo, en términos de agua del suelo y fertilidad, para obtener todo el potencial de la producción”. (28)

b) Satisfacer las pérdidas producidas por:

- i. Transpiración de los cultivos, que se estima por las condiciones climáticas del lugar.
- ii. Evaporación proveniente de superficies húmedas, con vegetación y suelo saturado.
- iii. Drenaje del agua del suelo.
- iv. Escorrentía superficial, por altos volúmenes y velocidades de aplicación, en campos con pendientes considerables. (28)

2.1.2 FACTORES PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO DEL RIEGO.

La **topografía** del terreno condiciona el riego por gravedad, debido a: aspectos de erosión, alta velocidad del flujo de agua que arrastra suelo superficial y menor tiempo de retención del agua para distribución y aprovechamiento efectivo en la parcela de producción. (2)

Por un lado en suelos ligeros (arenosos) permeables, con facilidad para la **infiltración** profunda del agua, fuera del alcance de las raíces, necesitan riegos frecuentes y con pequeñas aplicaciones hídricas, por lo que el riego por gravedad no suele ser recomendable. Por otro lado en los suelos con pequeña infiltración, generalmente pesados (arcillosos), se suele recomendar el riego por inundación, en terrenos de pequeñas extensiones y de bajas pendientes. Los cultivos asentados en suelos muy sueltos, sin estructura y con elevadas pendientes pueden ser regados por riego localizado. (2)

La **mano de obra** para construir y operar un sistema de riego también es determinante. Para el caso de las estructuras de riego tradicionales que se proponen en este proyecto, demandan intensiva mano de obra, ya que requieren de altos movimientos y acondicionamiento del suelo antes de iniciar el ciclo de cultivo. Los sistemas de riego tecnificados, necesitan una menor mano de obra, pero la inversión económica es mayor en implementos de conducción y dispositivos de aplicación en las parcelas. (2)

Los **rendimientos económicos** de los cultivos también determinan las decisiones: cultivos con mayor rendimiento económico permitirán invertir más dinero en construcción y operación del sistema de riego, en función de los proyectados beneficios económicos que retornarán después del ciclo de cultivo y comercialización. Para lograr una maximización de beneficios también resulta interesante proponer la minimización de inversión en sistemas de riego, sin que esto implique el uso de sistemas de riego inadecuados. También es un tipo de rendimiento económico, el ahorro de dinero que se alcanza por la producción adecuada de productos para auto abastecimiento de la comunidad. Se alcanza un

beneficio económico positivo por eliminación del gasto de comprar los mismos alimentos en el mercado normal, en el que los productos están cargados con el sobreprecio típico de la intermediación.

Las **necesidades de riego** netas, para un determinado periodo, se evalúan estableciendo un balance entre las cantidades de agua para satisfacción de las necesidades de los cultivos (pérdidas estimadas por los valores de evapotranspiración) y los aportes naturales de agua (lluvias y aguas subterráneas si es del caso), las que se contabilizan como volumen disponible de agua. En los periodos donde el agua no es suficiente para la satisfacción de las necesidades de los cultivos, se debe planificar la adición de agua de riego de una fuente externa, que compense el déficit de agua que se presenta en las diferentes etapas del año en las que se ha planificado la siembra.

2.1.3 PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.

Se debe regar antes de que la tensión del agua en el suelo reduzca el suministro hídrico a la planta, de tal forma que el fenómeno anotado no disminuya la producción para lograr su normal crecimiento biológico. Para lo mencionado, se deben conocer a fondo: las características de los cultivos, considerando sus necesidades de agua para su ciclo de desarrollo; las características de los suelos sobre los que crecen, considerando las propiedades hidrofísicas, textura, estructura y profundidad. Es importante también el análisis de los datos climatológicos de la zona de estudio, ya que estos factores tienen influencia determinante sobre la planta y el suelo. (4)

La programación del riego debe considerar la capacidad de retención del terreno, la fuerza de absorción de las raíces y la demanda atmosférica, para que el agua existente en el suelo sea aprovechable por las plantas. Se debe considerar que el suelo es un reservorio de agua, que esta disponible para consumo de los cultivos. A esta reserva se suman las aportaciones atmosféricas por lluvias y se restan los consumos por evapotranspiración, y posibles pérdidas por escorrentía superficial.

2.1.4 FRECUENCIA DE RIEGO.

La actividad del riego es efectiva y tiene su razón de ser, si puede mantener la mayor cantidad posible de agua en el suelo, con el objetivo de lograr la mayor producción. Los riegos de alta frecuencia, reponen rápidamente el agua consumida por el cultivo, incluso con periodicidad diaria en riegos al aire libre y de pocos minutos en cultivos protegidos. Así se puede permitir que la tensión del agua en el suelo sea pequeña, sin sufrir las grandes variaciones de los riegos convencionales, donde se suele aportar grandes volúmenes de agua en una o muy pocas dosificaciones y ningún o muy reducido aporte de agua en otras ocasiones. (7)

La adición de un volumen considerable de agua en una sola aplicación, hace que la carga de agua superficial provoque una mayor conducción vertical en el perfil del suelo, lo que provocaría pérdidas de agua hacia la zona profunda del suelo, donde las raíces ya no podrían aprovecharla.

2.1.5 RENDIMIENTO O EFICIENCIA DEL RIEGO.

El agua es aportada a los cultivos de diferente manera, según el método empleado, produciendo pérdidas durante las operaciones de riego. Por ello, la cantidad de agua aplicada al terreno es mayor a la utilizada por las plantas, existiendo un rendimiento o eficiencia de riego. El rendimiento puede ser de transporte hasta la parcela, de aplicación en la misma, o global, sumando las dos anteriores. La eficiencia de transporte considera las pérdidas producidas al llevar el agua hasta la parcela: por evaporación e infiltración en los canales, por rotura o falla en las conducciones y por deficiencias en el manejo del agua. (20)

La eficiencia de aplicación del riego, se representa por el cociente entre el agua de aporte efectivo de lluvia y/o riego aplicado a la parcela y el agua que es utilizada por las plantas para su crecimiento y producción, que es determinada principalmente por la evapotranspiración.

$$\text{Eficiencia} = [(\text{Precipitación y/o riego}) - \text{Escorrentía}] / \text{Evapotranspiración} \quad (2.1)$$

2.2 RELACIONES AGUA Y CULTIVOS.

El agua forma parte de la misma estructura celular de las plantas, permite la transportación de las sustancias nutritivas absorbidas en el medio líquido, además que constituye la principal reacción de acumulación de energía y multiplicación celular vegetal para la producción de materia orgánica, en la fotosíntesis.

2.2.1 EL AGUA EN LA PLANTA.

El agua es un elemento particular para los vegetales, por la existencia en el interior de las células de un organelo especial llamado vacuola, comparable a un depósito flexible que puede ocupar una gran parte de la célula. Esta vacuola se llena de agua y sales disueltas, ejerciendo sobre las paredes celulares una presión denominada, presión de turgencia, cuyo objetivo y relación con la disponibilidad del agua es proporcionar a la planta una cierta rigidez y soporte mecánico. Para el caso de falta de riego en verano, la planta no puede cubrir sus necesidades de transpiración a partir del agua del suelo, entonces extrae sus propias reservas. Así las vacuolas se vacían, por lo que existirá menor presión de turgencia, influyendo en las estructuras de la planta, en especial de las hojas, las que pierden rigidez y se vuelven blandas, ocasionando su marchitamiento. (2)

Se considera al clima como el factor mas importante que determinan el volumen de las perdidas de agua por evapotranspiración de cultivos. Casi toda el agua que los cultivos absorben del suelo pasa a través del tallo hacia las hojas, sitio en el que se evapora, llegando a la atmósfera por el proceso de transpiración. (3)

2.2.2 LA ABSORCIÓN.

La absorción del agua por las plantas no puede separarse de la transpiración, ya que es el efecto que permite a la planta extraer agua del suelo para cubrir ese consumo. El flujo de agua en una planta tiene movimiento ascendente, se producen constantemente bajo el proceso de evaporación directa a partir del

suelo, e indirectamente a partir de las raíces que conducen el flujo a las hojas (transpiración).

Es importante considerar que del volumen de agua absorbido por las raíces, dependerá directamente de la cantidad de agua transpirada por las hojas. Para que se presente la transpiración, debe haber un continuo abastecimiento y movimiento del agua del suelo hacia la planta y hacia la atmósfera. (2)

2.2.3 RELACIÓN AGUA Y SISTEMA RADICULAR DE LAS PLANTAS.

El sistema radicular de las plantas no es homogéneo. La raíz es ramificada y alcanza una determinada profundidad dependiendo de las condiciones del suelo, a medida que el suelo se seca desde la superficie hacia abajo, las raíces en la capa más profunda tienden a compensar esa diferencia aumentando su número en la fase de crecimiento. Así, cuando la planta haya aprovechado toda el agua de las capas superiores del suelo, continuará absorbiendo agua de capas más profundas. (4)

La absorción de agua por las raíces compensa las pérdidas debido a la transpiración por las hojas. En días calurosos y secos la planta necesita ejercer una absorción rápida de agua para reponer la pérdida. Si el agua disponible en el suelo es poca, o la superficie de absorción de las raíces es reducida, se presentará una marchitez temporal de la planta durante las horas de calor y sequía.

2.3 EFECTOS DEL CLIMA SOBRE LAS NECESIDADES DE AGUA DE CULTIVOS.

Existe una evidente relación entre los factores climáticos y el aporte, pérdida y dinámica del agua para los cultivos. En la evapotranspiración, los factores climáticos directos serán: temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, presión de vapor de agua, entre otros. También es importante considerar las precipitaciones, su intensidad y frecuencia.

La relación entre factores de evapotranspiración y precipitación, son los principales elementos para desarrollar un balance de pérdidas y aportes de agua, y planificar la adición artificial de agua en forma de riego, para producciones agrícolas sostenidas a lo largo del año, y el uso adecuado del recurso agua.

La falta de agua por temporadas climáticas, puede reducir la absorción de nutrientes por parte del cultivo, debido a que estos pueden moverse únicamente a través de soluciones en agua; por lo tanto, debe existir una película continua de agua en el suelo conectando los nutrientes con las raíces. (9)

2.3.1 LA EVAPOTRANSPIRACIÓN.

La evapotranspiración es la suma de los procesos de evaporación y transpiración. La evaporación de agua líquida o sólida directamente desde el suelo, o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), y la transpiración hacia la atmósfera del agua absorbida por las raíces, que se transfiere a la atmósfera a través de las estomas situadas en las hojas.

En el aspecto biológico, la transpiración es afectada por las características de la especie vegetal, edad, desarrollo, tipo de follaje y profundidad radicular. Una de las características de la especie vegetal, influenciada por las condiciones ambientales, es el número de estomas por unidad de área foliar, valor que puede diferir en función de la especie de planta, la configuración y área de exposición de las hojas a las condiciones meteorológicas causantes de la transpiración. (3)

2.3.1.1 Evapotranspiración de Referencia (ETo).

La evapotranspiración de referencia o potencial (ETo), es la combinación de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración vegetal, y se la define con un valor de referencia cuyo valor es la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 centímetros de altura, uniforme,

de crecimiento activo, que hacen sombra totalmente al suelo y donde no escasea el agua.

Se disponen de fórmulas para el cálculo del valor de la ETo. La elección del método de cálculo se basará en el tipo de datos climáticos disponibles de la zona de investigación y el número de variables que pueda considerar para estimar los valores más representativos y cercanos a la realidad. (8)

2.3.1.2 Métodos para la estimación de la evapotranspiración de referencia.

En la cuantificación y estimación del fenómeno de la evapotranspiración se ejecutan estudios en dos sentidos:

- a) En la elaboración de formulas teórico-empíricas para explicar el fenómeno con máxima cercanía a condiciones reales (métodos de estimación)
- b) En la elaboración de aparatos y métodos de medida para la observación de los valores reales de evaporación desde la superficie (métodos de medida)

Se utilizan métodos para predecir la evapotranspiración a partir de variables climáticas, debido a la dificultad de obtener mediciones directas y exactas en condiciones reales.

Para el análisis de este trabajo, se utilizarán los métodos de estimación Blaney Criddle, de la Radiación y el de Penman, en función de los datos climáticos obtenidos de las estaciones cercanas al proyecto, y de la información de tablas y cuadros obtenidos de experiencias con estos métodos, principalmente las experiencias de Expertos de la FAO. (25)

2.3.1.2.1 Método Blaney Criddle.

La ecuación Blaney Criddle (1950) es uno de los métodos mas ampliamente utilizados para calcular las necesidades de agua de un cultivo. Se ha sugerido su uso para calcular los efectos del clima sobre la evapotranspiración del cultivo de

referencia, E_{To} , en aquellas zonas en las que solo se dispone de datos medidos de temperatura del aire, t , y porcentaje de horas diurnas en el mes, en relación al total del año, p .

$$f = p/100(45,72t + 812,8) \quad (2.2)$$

Donde:

- f : Evapotranspiración mensual (mm/mes)
- t : Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$).
- p : Porcentaje de horas diurnas en el mes sobre el total de horas diurnas en el año, en función de la latitud de la zona.

El factor f se expresa en mm mensuales, valor referente de evapotranspiración de cada mes. Para determinar el valor diario de la E_{To} es factible dividir el valor de E_{To} mensual para el número de días de cada mes. (25)

Consideraciones para el método:

- 1 Los efectos del clima, no quedan del todo definidos por la temperatura y la duración del día que definen el factor f , ya que las necesidades de agua de un cultivo variarían considerablemente en climas diferentes pero con similares temperaturas ambientales, como sería el caso de climas muy secos y climas muy húmedos, o zonas de vientos muy fuertes y en calma.
- 2 Para definir mejor los efectos del clima sobre las necesidades de agua del cultivo, la FAO ha calculado el factor f diario (mm/día) para un gran número de climas y ubicaciones, estableciendo así relaciones entre el factor f de Blaney Criddle y la evapotranspiración del cultivo de referencia (gramíneas), E_{To} , tomando en cuenta los niveles de humedad relativa mínima (RH_{min}), insolación (n/N) y velocidad del viento (U), y lograr un ajuste del factor f a las condiciones climáticas más reales.

Los rangos generales de las variables climáticas que se pueden usar para ajustes de los valores estimados de E_{To} con el método Blaney Criddle, son los siguientes:

Humedad relativa mínima (RHmin)

- Baja: < 20%
- Media: 20-50%
- Alta: > 50%

Insolación (n/N)

Relación entre horas reales diarias (n) y las máximas posibles de insolación (N).

- Baja: < 0,6
- Media: 0,6 – 0,8 (Cielo totalmente cubierto durante el 40% del día, o parcialmente cubierto durante el 70% de horas del día).
- Alta: > 0,8 (Insolación casi fuerte durante todo el día).

Velocidad del viento (U)

- Débil: < 2m/s
- Moderado: 2 – 5 m/s
- Fuerte: 5 – 8 m/s
- Muy fuerte: > 8 m/s

Los gráficos para predicción de la ETo a partir del factor f de Blaney Criddle, para diferentes condiciones de RHmin, n/N y U, se los presenta en el Gráfico N° 1 del Anexo N° 1. (9)

2.3.1.2.2 Método de la Radiación.

Este método predice los efectos del clima sobre las necesidades de agua de los cultivos. De algunos estudio se ha determinado la formula de la ETo, con respecto a un gran número de ubicaciones y climas distintos. En esos puntos, además de los datos medidos de temperatura y radiación solar, se disponía también de datos de viento y humedad, así como la evapotranspiración de las gramíneas medidas in situ. Así se han establecido las relaciones entre la radiación y la ETo teniendo en cuenta la humedad relativa media y los vientos diurnos.

Los resultados que se obtienen con este método, son más fiables que los del método Blaney Criddle, particularmente para las zonas ecuatoriales. Incluso cuando no se disponga de datos sobre la nubosidad o insolación de los lugares específicos en estudio, se puede usar los mapas de radiación solar mundial.

Existe una relación matemática que se sugiere para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), a partir de la radiación solar (R_s) y un coeficiente de ponderación (W), que se refiere a los efectos de la temperatura y la altitud, factor que pondera los efectos de la radiación sobre la ET_o:

$$ET_o = a + b \cdot R_s \cdot W \quad (2.3)$$

Donde:

- ET_o: Evapotranspiración del cultivo de referencia en mm/día, representa el valor medio en un periodo de 10 a 30 días.
- R_s: Radiación solar expresada en el equivalente de evaporación en mm/día.
- W: Índice de ponderación que depende de la temperatura y altitud.
- a, b: valores de corte y pendiente de las curvas ET_o = f (W·R_s)

La radiación solar R_s.

Una fracción variable de la radiación solar llega hasta la superficie de la tierra R_s y el resto se refleja y absorbe al atravesar la atmósfera. Estará en función de la latitud y condiciones climáticas específicas de cada época del año. La radiación R_s, se puede expresar como equivalente de evaporación en mm/día, convertida en calor. Se puede calcular a partir de datos de insolación:

$$R_s = (0.25 + 0.50 \cdot n/N) \cdot R_a \quad (2.4)$$

Donde:

- R_s: Radiación solar para distintas relaciones entre las horas reales y las máximas de posible insolación (n/N), expresados en equivalente de evaporación en mm/día.

- n/N : Relación entre las horas reales diarias y las máximas posibles de fuerte insolación.
- R_a : Radiación extraterrestre en función de la época del año y latitud, en equivalentes de evaporación en mm/día.

Calculado R_s , junto con su valor de ponderación R_s*W , se definen las condiciones aproximadas de humedad relativa media (HR_{med}) y los vientos diurnos, para determinar gráficamente el valor de la ET_o utilizando adecuadamente el Gráfico N° 2 del ANEXO N° 1. (9)

Consideraciones para el método:

Es importante citar que la inclusión del factor de ponderación W elimina el efecto de los ciclos estacionales que se da normalmente entre la ET_o y la R_s . Además en condiciones similares de vientos diurnos y humedad relativa media, se ha observado que existe una buena correlación entre R_s*W y la ET_o para una amplia gama de temperaturas.

2.3.1.2.3 El Método de Penman Modificado.

En aquellas zonas en las que se disponga de datos medidos de temperatura, humedad, viento, horas de insolación (heliofanía) y presión de vapor, se sugiere el empleo del método de Penman modificado, que puede proporcionar los resultados más satisfactorios para predecir los efectos combinados del clima sobre la demanda de agua de los cultivos.

Los procedimientos de cálculo para obtener ET_o pueden parecer bastante complicados; esto se debe a que la fórmula contiene elementos que deben derivarse previamente de los datos climáticos conocidos y/o estimados y relacionados cuando no se dispone de mediciones directas.

Para la calcular y estimar valores y términos necesarios para el método de Penman modificado, se cuenta con tablas y ecuaciones generadas de experiencias de la FAO, de estudios de las necesidades de agua de los cultivos.

La relación recomendada para el método es la siguiente:

$$ET_o = c * [(W * R_n) + ((1 - W) * f(U) * (e_a - e_d))] \quad (2.5)$$

[(Término de la radiación) + (Término aerodinámico)]

Donde:

- e_a : Presión saturante de vapor, en función de la T media del aire (mbar).
- e_d : Presión del vapor, determinada a partir de la temperatura del rocío (mbar).
- $f(U)$: Valores en función del viento, para la velocidad del viento a 2 metros (km/día).
- $(1 - W)$: Valor del factor de ponderación, para los efectos de viento y de la humedad sobre la ET a diferentes temperaturas y altitudes.
- R_n : Radiación neta, en equivalente de evaporación en mm/día.
- W : Factor de ponderación, para los efectos de la radiación sobre la ET_o a diferentes temperaturas y altitudes.
- c : Factor de corrección c , en función de la radiación solar, humedad relativa máxima y vientos diurnos.

Para obtener el valor de radiación neta R_n , se tiene en cuenta la diferencia entre toda la radiación entrante y saliente. La radiación que ingresa a la atmósfera y llega a la superficie de suelos y plantas es del tipo de ondas largas y ondas cortas. De la radiación solar que entra a la atmósfera, parte de ella se dispersa por la nubosidad, la parte que llega al suelo es reflejada por el suelo mismo y por los cultivos valor definido por el factor de reflexión α , de toda este flujo de radiación, la parte de la radiación que se queda es la radiación solar de ondas cortas R_{ns} . (1)

Existe todavía una pérdida adicional de radiación por la superficie del suelo, ya que irradia parte de la energía absorbida como radiación de ondas largas, entonces la radiación de ondas largas saliente y la entrante, recibe el nombre de radiación neta de ondas largas, R_{nl} . (9)

La relación para definir la R_n , queda definida como se indica a continuación:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.6)$$

$$R_n = [(1 - \alpha) * (0,25 + 0,50 * n/N) * R_a] - [f(T) * f(ed) * f(n/N)]$$

Donde:

- n/N : Relación entre las horas reales diarias y las máximas posibles de fuerte insolación.
- R_a : Radiación extraterrestre, expresada en equivalente de evaporación (mm/día), en función del mes y latitud.
- $f(T)$: Corrección para la temperatura con respecto a la radiación neta de ondas larga R_{nl} .
- $f(ed)$: Corrección para la presión del vapor con respecto a la radiación de ondas largas R_{nl} .
- α : Factor de reflexión de la radiación, que depende de la cubierta de la superficie, y para la gran mayoría de cultivos es de aproximadamente del 25%.

2.3.1.3 Evapotranspiración del cultivo (ET_c).

Para obtener ET_c, se ha estudiado la relación entre la ET_o y la ET_c utilizando datos correspondientes a distintas ubicaciones y climas. Con respecto al cultivo seleccionado, su fase de desarrollo y las condiciones climáticas predominantes se han determinado coeficientes de cultivo K_c , factores que ajusten la ET_o a valores más específicos por tipo de cultivos.

Se puede obtener la ET_c mediante la fórmula:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (2.7)$$

Donde:

- ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm por unidad de tiempo).
- ET_o: Evaporación del cultivo de referencia (mm por unidad de tiempo).

- Kc: Coeficiente del cultivo (adimensional).

Así la ET_c determinada de este modo se refiere a la evapotranspiración de un cultivo sin enfermedades y en condiciones óptimas de suelos, incluida fertilidad y agua suficiente, con la que se llegaría a la plena producción de ese cultivo.

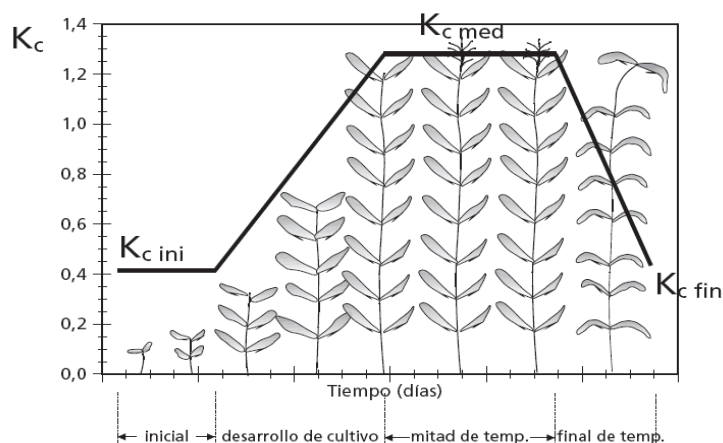
Se recalca la importancia de este factor ET_c que representaría un componente fundamental de un balance hídrico desarrollado para planificar las necesidades de agua mas afinadas y definidas por tipo de cultivo, para lo que se programaría aplicaciones de agua con sistemas y estructuras de riego adecuado.

2.3.1.4 El Coeficiente de Cultivo (Kc).

Es un coeficiente de ajuste que permite relacionar la ET_o, con las etapas y necesidades de agua de cada tipo de cultivo. Estos coeficientes dependen de las características propias de cada cultivo y de la etapa fenológica en que se encuentre, ya que marca la variación de la capacidad del cultivo para extraer agua del suelo durante sus fases de desarrollo. Con este factor se logra especificidad para estimar el agua necesaria, para cubrir las necesidades de cada tipo de cultivo. (1)

Esta variación es mayor en los cultivos anuales, ya que cubren todo su ciclo en menos tiempo, por lo que se divide el periodo vegetativo en sus etapas de desarrollo:

- **Primera etapa**, inicial o de establecimiento del cultivo (poco consumo de agua)
- **Segunda etapa**, de desarrollo del cultivo (consumo de agua aumenta)
- **Tercera etapa**, de pleno desarrollo, de máxima evapotranspiración (máximo consumo de agua)
- **Cuarta etapa**, final o de maduración y cosecha (reduce el consumo de agua).

FIGURA 2.1: CURVA DEMOSTRATIVA DE COEFICIENTES DE CULTIVO K_c 

FUENTE: FAO: Evapotranspiración del Cultivo. Roma, 2006

Una vez conocida la ETo , se multiplica por el factor corrector específico, que varía de acuerdo con la etapa del cultivo, definido por K_c , obteniéndose así la evapotranspiración del cultivo específico (ETc), estimación aproximada del agua que necesita el cultivo para satisfacer sus necesidades en las etapas de su desarrollo. (1)

Consideración para el proceso de evapotranspiración

En cultivos en hileras, cuando están ampliamente espaciados, la energía radiante incide sobre la parte desnuda del suelo, por lo que se secan las porciones entre las hileras de plantas, por tanto, también se produce el calentamiento del suelo y al aire circundante. Esto constituye una fuente adicional de energía que induce a una mayor evapotranspiración, debido a que se crea una atmósfera que ha recibido la transferencia de calor y que circula sobre la superficie del cultivo y aumenta la energía disponible para el proceso. (3)

2.3.2 PRECIPITACIÓN EFECTIVA.

Para planificar el riego, es indispensable conocer el volumen e intensidad de las lluvias. Se requiere de datos históricos abundantes, para prever la variación de las lluvias, considerando que las lluvias medias basadas en un grupo de datos cortos constituyen una aproximación somera y con errores. Las precipitaciones tienen

dos características que pueden afectar adversamente la producción agrícola: la baja cantidad y el bajo nivel de confiabilidad (incertidumbre).

Las características de la lluvia más importantes para determinar la cantidad, son la intensidad, la duración y volumen. Para planificar obras de captación de aguas de lluvia, que es una de las funciones de los sistemas de riego tradicional, se puede utilizar como base la precipitación anual ó mensual y además la intensidad de precipitación.

La precipitación efectiva, es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas y depende de múltiples factores como la intensidad, frecuencia, inclinación del terreno, contenido inicial de humedad del suelo y velocidad de infiltración. No toda la lluvia caída directamente en el campo es efectiva, parte de ella se pierde por escorrentía y percolación profunda. Las pérdidas por escorrentía, es el factor sobre el que pueden actuar los sistemas de riego tradicionales para retenerla y mantenerla disponible y almacenada temporalmente para el consumo de los cultivos. (4)

Se debe considerar que mientras los eventos de lluvia sean más intensos y de mayor volumen, ocurren considerables pérdidas de agua por escorrentía superficial, la misma que podría ser captada en estructuras de acumulación, para evitar procesos de erosión y alcanzar el uso de todo el volumen de agua de lluvia que es considerado el mayor aporte natural para fines agrícolas, y que además no representa ningún costo adicional.

TABLA 2.1: CLASIFICACIÓN DE EVENTOS DE PRECIPITACIÓN

EVENTO	LÁMINA
Muy ligero	≤ 3mm
Ligero	5 mm
Medio	≥10 mm
Fuerte (tormentas)	≥ 40mm

FUENTE: FAO. Evapotranspiración del Cultivo. Roma, 2006

En el presente proyecto, se estima la precipitación efectiva como la diferencia entre los valores de precipitación mensual y la escorrentía, que se genera por el uso de prácticas comunes de cultivo que se aplican en las parcelas.

$$P_{ef} = P - E_s \quad (2.8)$$

Donde:

- P_{ef} : Precipitación efectiva mensual (mm)
- P : Precipitación media mensual (mm)
- E_s : Esguerrimiento superficial (mm)

2.4 RELACIONES AGUA Y SUELO AGRÍCOLA.

El suelo es capaz de almacenar una cantidad limitada de agua, y de ésta, solo una parte es utilizado para las plantas. Por ello es importante conocer el contenido de agua por unidad de área o volumen de suelo y la disponibilidad de la misma.

El agua es requerida por las plantas en pequeñas cantidades para el metabolismo y transportación de los nutrientes y en grandes cantidades en el proceso fisiológico de la transpiración. El agua del suelo siempre contiene sustancias disueltas, por lo que se denomina solución del suelo que desempeña algunas funciones, entre las que tenemos: (26)

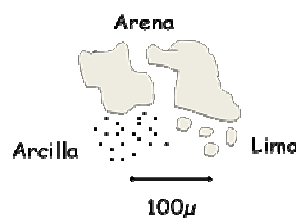
1. El agua aumenta la plasticidad del suelo y reduce su resistencia a la penetración de las raíces y al crecimiento de órganos vegetales subterráneos (raíces, bulbos).
2. El agua facilita la descomposición de los residuos orgánicos en el suelo y la liberación de nutrientes vegetales a partir de éstos.
3. El agua es un agente amortiguador de los cambios de temperatura del suelo y de la atmósfera circundante, por lo que desde el suelo ayuda a mantener un ambiente más estable para el desarrollo de las plantas.

2.4.1 PROPIEDADES BÁSICAS DEL SUELO AGRICOLA.

2.4.1.1 Textura.

Se define como la proporción relativa o porcentaje en peso de cada una de las tres fracciones minerales: arenas, limos y arcillas. Una descripción de la textura del suelo puede decirnos mucho acerca de las interacciones hidrológicas suelo-planta. En suelos minerales, la capacidad de intercambio (habilidad para retener elementos esenciales a las plantas) está estrechamente relacionada con la cantidad y clase de arcilla en el suelo. La capacidad de retener agua está determinada en gran medida por la distribución del tamaño de las partículas. Suelos con predominio de textura fina (con porcentajes altos de arcilla y limo) retienen más agua que los de textura gruesa (arenosa). Los suelos de textura fina son más compactos, el movimiento de agua y aire es más lento y pueden ser más difíciles de trabajar. Los suelos francos que tienen características intermedias entre arenosos y arcillosos, pueden resultar los de mejores condiciones para los cultivos. (26)

FIGURA 2.2: TAMAÑOS COMPARATIVOS DE ARENA, LIMO Y ARCILLA.



FUENTE: Hillel, 1980

2.4.1.2 Estructura.

La estructura se refiere al arreglo, orientación, forma y acomodo, de las partículas individuales y agregados del suelo respecto unas de otras, los que se forman por acción directa de materiales cementantes. Las partículas se agregan y forman los pedos (agregados individuales), que a su vez conforman un suelo estructurado. De esta forma se pueden clasificar los distintos tipos de estructuras en algunos tipos

principales: granular, prismática, masiva, bloquiforme y laminar. La estructura del suelo influye en gran medida en el crecimiento de las plantas, por su efecto en el movimiento y retención de humedad, aireación, desalojo de agua y la protección frente a la erosión. El efecto de la estructura es más pronunciado al determinar el contenido de agua en capacidad de campo, pues la presencia de grietas, fisuras y canales determina, en parte, la cantidad de agua retenida contra las fuerzas gravitacionales. (26)

FIGURA 2.3: TIPOS DE ESTRUCTURAS DE SUELOS



FUENTE: www.robertexto.com, (2003)

2.4.1.3 Porosidad.

La porosidad del suelo, es el volumen de aire y agua contenido en una unidad de volumen de suelo. El agua del suelo se encuentra alojada en los poros cuyo diámetro es menor de 10 micras, pues los poros de mayor tamaño drenan fácilmente el agua y permanecen ocupados por aire, excepto cuando las condiciones del suelo impiden el libre drenaje.

Las características de los poros dependen también de estructura, textura, estructura y contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, labranza entre otras características. El diámetro de los poros en suelos arenosos es mayor

que en los suelos arcillosos, por tanto, en los suelos arenosos la velocidad de infiltración del agua es muy rápida, pero su capacidad de retención de humedad en contra de la fuerza de gravedad es baja. En los suelos arcillosos sucede lo contrario, la velocidad de infiltración es baja y la capacidad de retención de humedad es alta. La situación en suelos francos sería intermedia entre las características de los suelos mencionados. (1)

2.4.2 MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO.

La cantidad de agua presente en el suelo que está disponible para la producción de cultivos, dependerá de la cantidad de agua lluvia que permanece en el suelo después de las pérdidas por escorrentía, evaporación y drenaje profundo. El buen manejo del agua de lluvia está dirigido a maximizar la cantidad de agua que penetra al suelo, cualquier escorrentía inevitable puede ser conducida de forma segura por medio de prácticas adecuadas en el suelo con el fin de lograr el manejo de la mayor cantidad de agua disponible a la vez de evitar problemas erosivos. (26)

2.4.3 INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.

La cantidad de agua de lluvia que se infiltra es limitada por la intensidad de la lluvia en relación con la tasa de infiltración del suelo. Cuando la intensidad de lluvia es mayor que la tasa de infiltración tendrá lugar la escorrentía con el consecuente desperdicio de agua que podría ser usada para la producción de cultivos y para recargar el agua subterránea. El proceso de infiltración se puede estudiar de acuerdo a la conformación del terreno superficial que determina la dirección y movimiento del flujo de agua, este puede ser unidimensional (vertical descendente), bidimensional (vertical y lateral) o tridimensional (vertical y lateral en dos direcciones). (26)

Zonas de humedad en el proceso de infiltración.

Se distinguen tres zonas: la parte superior del suelo, por donde inicia la entrada de agua, constituye una zona de saturación y transmisión, allí el porcentaje de saturación es de alrededor del 95%. Inmediatamente abajo se encuentra la zona de transmisión, en cuyo perfil el agua tiene movimiento distributivo lateral y vertical, dependiendo de las condiciones de conductividad hidráulica del suelo y del gradiente de potencial hídrico. Por último, la zona inferior se denomina de humedecimiento, a diferencia de las dos anteriores, en esta zona se incrementa el contenido de humedad, transmitiéndose a mayores profundidades hacia el nivel freático o zona saturada. (26)

Factores que afectan la velocidad de infiltración.

- a) El contenido inicial de humedad del suelo, relacionado en forma inversa con la infiltración; es decir, a mayor contenido de humedad, será menor la velocidad de infiltración.
- b) La textura del suelo, pudiendo afirmarse que a mayor contenido de arena, mayor velocidad de infiltración.
- c) La condición de la superficie del suelo, la presencia de costras, compactación, o labranza excesiva, que destruye las interconexiones de poros superficiales, disminuye la velocidad de infiltración. La existencia de grietas hace que incremente, al menos temporalmente.
- d) La estratificación del suelo, que retrasa el avance del frente de humedad e induce a un mayor tiempo para alcanzar la velocidad de infiltración básica.

2.4.4 LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

Cuando la lluvia cae, las primeras gotas de agua son interceptadas por las hojas del cultivo, a lo que se le denomina almacenamiento de intercepción. Si la lluvia continúa, el agua llega a la superficie del suelo, y empieza la infiltración hasta que alcanza una etapa en donde la intensidad de lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo, se empiezan a llenar de agua las partes bajas del los

terrenos, las depresiones, canales, surcos o otras pequeñas depresiones, y si la lluvia continua se produce escorrentía superficial. (11)

El proceso de generación de escorrentía superficial, se llevará a cabo mientras la intensidad de la lluvia sea mayor que la capacidad actual de infiltración del suelo y se detendrá cuando la intensidad de lluvia sea mas baja que la velocidad actual de infiltración. La cantidad de agua precipitada, que se pierde por escurrimiento superficial, dependerá principalmente de la intensidad de la lluvia, la pendiente del terreno, el tipo de suelo, sus condiciones hidráulicas, el contenido de humedad antecedente, el uso del suelo y tipo de cobertura. Con el uso de estructuras de cultivo y riego tradicional se planea manejar el factor escorrentía, para evitar su perdida y mantenerla útil y disponible para el consumo de los cultivos.

CAPITULO 3

SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL PROPUESTOS Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA PARA IMPLEMENTACIÓN

En la bibliografía revisada para el desarrollo de este proyecto, se mencionan algunas zonas del Cantón Cayambe, como evidencia de estructuras y configuraciones de terrenos, que denotan sistemas creados con fines agrícolas. Tales estructuras, habrían resultado de la aplicación de criterios de construcción, generados por experiencias acumuladas de muchos años de prácticas agrícolas, para abastecer de alimentos a la población, que en épocas prehispánicas, estuvo asentada en ese territorio.

Las estructuras que se analizaron en este proyecto, son los denominados “camellones” y los andenes o “terrazas” de cultivo, sobre los que se ha encontrado información bibliográfica importante.

Otra estructura identificada, son las “albarradas”, represas de tierra o reservorios rústicos, usados para conservar el exceso de agua de las estaciones lluviosas, para su utilización en los períodos de menores o nulas precipitaciones, que a la vez tienen la función de reservorios infiltrantes del agua de escorrentía capturada.

La información histórica de sistemas de riego tradicional, se usará para generar una propuesta específica adaptable, para uso y pruebas en los terrenos cultivables de la comunidad Santa Rosa, perteneciente a la parroquia Ayora del Cantón Cayambe. El componente social organizado y comprometido, funcionaría como el elemento gestor, constructor y de mantenimiento de las estructuras.

3.1 HISTORIA DE SISTEMAS TRADICIONALES DE RIEGO EN CAYAMBE.

En época de la conquista incaica, el territorio de Cayambe era sede de un cacicazgo que participó en la confederación de cacicazgos del centro norte del Ecuador actual. Dentro del área de estudio, en las actuales haciendas “San Juan” y “La Tola”, que distan aproximadamente 5 km de Cayambe en dirección Noroeste, se ha muestreado luego de excavar 4 estratos bajo el suelo actual, formaciones de camellones, a partir del segundo estrato de excavación.

En el suelo del sitio de San Juan, se han encontrado 2 depósitos de cenizas volcánicas que pueden servir como marcadores cronológicos. Es difícil con los datos disponibles, establecer el grupo humano que construyó los camellones ubicados debajo de la ceniza del estrato 2, pero tomando como referencia la fecha más temprana (300 a.c.), es probable que el área de estudio fue por primera vez ocupada luego de esta fecha, y que en los 1500 años posteriores, fueron construidos los camellones por grupos humanos pertenecientes al Periodo de Desarrollo Regional (500 a.c y 50 d.c) o al periodo de Integración (500 d.c hasta el contacto español).

Aparte de los camellones, la zona de Cayambe registra otras huellas arqueológicas entre las que se anotan, las terrazas, como las observadas al Norte de la población de Cayambe, en la llanura del Rio San José y en la zona de Paquiestancia, ubicada al Este de la comunidad Santa Rosa de Ayora, zona de la aplicación del presente proyecto. (21)

La mayoría de camellones que históricamente se han inventariado en algunos estudios de Knapp Gregory (1992) y C. Caillavet (1983), se ubicaban en tierras de haciendas. Pero en tiempos de mecanización para la siembra de pastizales, cultivados para la intensificación de explotación de la ganadería lechera, a finales de los años 1960, los camellones empezaron a ser destruidos. A esto, se sumó el desarrollo ulterior de la floricultura, actividad que ha terminado de borrar estas estructuras huellas del pasado. (39)

3.2 ESTRUCTURAS TRADICIONALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA QUE SE USARON EN LA ZONA NORTE DE CAYAMBE.

Las estructuras para el transporte, retención y distribución de agua usados en tiempos antiguos para la producción agrícola en la zona del territorio de Cayambe, son las acequias que aun prevalecen para el transporte del agua desde las fuentes de origen, para el abastecimiento de agua a las comunidades Norte, Este y hasta las que se asientan en los páramos de las faldas bajas del nevado Cayambe. (39)

3.2.1 LAS ACEQUIAS.

La construcción a gran escala de las acequias de riego en la zona norte de Cayambe, se produjo al final del período de integración. Las acequias están relacionadas con las tolas, con la construcción de camellones y el apareamiento de importantes asentamientos humanos, que datan del 950 d.c a 1530 d.c. El riego estuvo fuertemente unido a la intensificación productiva que se produjo en ese período con el apareamiento de importantes confederaciones. (21)

3.2.1.1 El abastecimiento de agua por acequias tradicionales para riego.

El agua que se conduce por acequias tradicionales, proviene de vertientes y ríos, originarios de zonas altas de pajonales, y deshielos del Nevado Cayambe, en cuyas faldas existen substratos volcánicos permeables e impermeables, que transmiten el agua por superficie e infiltración por surcos subterráneos, flujos que atenuados por la capacidad de retención de humedad de plantas de páramos, llegan a formar ríos con flujos estables, en las zonas cercanas a su cabecera de formación, más abajo la suma de las acumulaciones de agua de una zona grande de drenaje forman los ríos que fluyen en cañones profundos de las cuales también se puede aprovechar mayores volúmenes de agua. (29)

Para el caso de este trabajo, el río del que se capta el agua para abastecer de riego a la zona baja de Santa Rosa de Ayora, es el río “La Chimba”, del que se deriva la acequia “La Compañía”.

El origen de agua del río “La Chimba” y por tanto de la acequia “La Compañía” en época sin lluvias y días continuos de sol, es el nevado Cayambe, por lo se puede contar con un caudal base importante, gracias al suministro de las capas de hielo del volcán, y por las caídas de lluvia en la cordillera adyacente de la selva Oriental.

La otra acequia de riego de la que se puede beneficiar la Comunidad Santa Rosa de Ayora, es la antigua acequia Tabacundo, que cruza por la comunidad vecina de Santa Ana, ubicada a una altura mayor. En la actualidad, se han construido dos reservorios excavados en terrenos comprados en la comunidad Santa Ana, con el fin acumular en éstos, el turno de caudal de la acequia Tabacundo, que le corresponde a la comunidad Santa Rosa. Con el importante volumen de agua que acumularían los reservorios, se contaría con una fuente confiable de abastecimiento de agua para el sistema de riego por aspersión que se construye en la comunidad.

3.2.1.2 Modelo típico de acequias tradicionales del Norte de Cayambe.

Un modelo de acequia tradicional típica es el caso de la acequia “Tabacundo” y “La Compañía”. Empieza cerca de una vertiente o un dique de desviación (no de represamiento), en un río (una bocatoma). La bocatoma rústica o tradicional se construía con piedras, chamba o maderas, y tenía que reconstruirse después de las crecidas. La bocatoma alimenta a estas acequias de tierra sin recubrimiento, con dimensiones de 0.5 a 2 metros de ancho y 0.5 a 1.5 metros de profundidad.
(21)

En terrenos donde las acequias siguen el contorno lateral de las pendientes, se tiene bancos que consisten en acumulaciones laterales de tierra, con huecos, para permitir la descarga de agua excesiva. Estos bancos sirven como senderos que muchas veces están cubiertos por un monte denso, que contiene plantas

útiles, que servirían como recubrimiento natural de la acequia. El destino final de las acequias será una descarga en una quebrada o un río en una cota inferior.

3.2.1.3 El material de construcción de las acequias tradicionales “Tabacundo” y “La Compañía”.

En la revisión de información acerca de los tipos de suelo y formaciones edáficas de la zona, obtenidas del mapa de suelos del Programa Nacional de Regionalización Agraria del Ministerio de Agricultura (1980), se evidencia que gran parte o la mayoría del subsuelo bajo la capa cultivable, es cangahua. De ahí, se destaca que la característica especial de la acequia Tabacundo, excavada en un suelo de formación cangahua, es la de tener bajas pérdidas por filtración global del agua. Sobre este beneficio se puede estimar que una acequia cavada en cangahua tendrá una pérdida por filtración global de un 15% del volumen de agua que transporta. Como dato comparativo, se puede citar que un suelo franco arcilloso puede tener una pérdida por filtración de 40 % aproximadamente. Además pruebas de laboratorio han demostrado que la densidad de la cangahua es elevada y que su permeabilidad es muy baja. (31)

Las caídas verticales que transportan el agua desde la altura hacia zonas de irrigación, muestran poca erosión y daño de su estructura, razón por la que han tenido larga duración en la zona, constituyéndose en una importante ventaja constructiva de las acequias como vía de transporte adecuada del agua a través de la difícil topografía del lugar.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONAL PARA PARCELAS.

3.3.1 LAS ALBARRADAS.

Esta técnica se aplicó en zonas con cortos períodos de lluvia y largas estaciones de sequía, también en combinación con los campos elevados o “camellones”, se lo hizo también en cuencas andinas semi-pantanosas, con precipitaciones estacionalmente intensas, como es el caso de la parte baja del valle de Cayambe.

Las albarradas son construcciones hidráulicas de tierra, de distintos tamaños, que poseen muros y están formadas por cabecera y brazos. Estos muros se sostienen por la vegetación sembrada por los comuneros o diseminadas las semillas por las condiciones naturales de viento. Son de forma circular, semicircular o circular alargada. Se llenan mediante un proceso lento de acumulación de agua de lluvia (escorrentías), o también con el agua de pequeños cauces. En el valle de Cayambe, existieron albarradas construidas y utilizadas en conexión con los campos elevados. (37)

Los beneficios más interesantes de las albarradas tradicionales fueron su construcción en suelos permeables o semipermeables que favorecen la infiltración, de manera que su objetivo principal era recargar los acuíferos aprovechando las lluvias que caen en la zona. El fin de las albarradas no era únicamente la recarga de acuíferos sino también la captación de agua en las cabeceras de lomas cultivadas, para infiltrar el agua por los bordes de las lomas, creando las condiciones para que el agua llegue a las raíces conduciéndose por el suelo, con lo que se puede evitar los efectos atmosféricos de evaporación y pérdida de agua por escorrentía superficial.

FIGURA 3.1: REPRESENTACIÓN DE UNA ALBARRADA TRADICIONAL Y SUS COMPONENTES



1. Pozo interno asociado a la albarrada
2. Pozo externo asociado a la albarrada
3. Acuífero alimentado por la albarrada

4. Formaciones geológicas permeables o semipermeables
5. Área de aportación
6. Lechugines
7. Muro de albarrada
8. Brazo de la albarrada
9. Bosque
10. Comunidad
11. Área de desfogue

FUENTE: Marcos, 1988; Ramón, 2008.

3.3.2 LOS CAMELLONES EN CAYAMBE.

Los “camellones” o campos elevados en la zona de Cayambe, eran también denominados en lengua aborígen como “Pigal” y tuvieron gran importancia en la época prehispánica. Consistieron en plataformas para cultivo, hasta de un metro de altura, y separadas por acequias cada 3 a 7 metros, mientras el largo podía variar entre 20 y 100 metros. Esta técnica agrícola prehispánica, que podría haberse originado en el periodo de integración, sirvió para irrigación y minimización de los efectos nocivos de las heladas. Estas antiguas obras de riego formaban un tipo de sistema concebido para funcionar con un suministro confiable y continuo de agua, para asegurar su permanencia en los surcos entre los camellones, para fines de riego, manejo de fertilidad y control de temperatura. (39)

El agua estancada en los canales de los camellones, contenía algas verde-azules, ricas en nitrógeno y a la vez se lograba concentrar sedimentos de limo ricos en fósforo (Knapp, 1984). Este material se podía depositar en las plataformas de cultivo una o dos veces por año, permitiendo la fertilización de los montículos de producción agrícola. (21)

Los camellones habrían permitido concentraciones de población alrededor de los centros autónomos de poder, en lucha constante entre ellos para mantener la seguridad alimentaria sobre su territorio y reaccionando a la presión de sus expansiones, a través del mejoramiento de la eficacia de la producción. Se estima que aproximadamente 3000 personas en el área, dependían de la producción de camellones. (39)

En el Anexo N° 4, se presentan fotografías de muestras de camellones aun apreciables en la zona de Cayambe hasta el año 1992.

Características importantes de los Camellones.

Entre las características propias de los camellones, está el aprovechamiento total del agua de aporte natural y la conservación de los suelos productivos en las condiciones andinas. Este tipo de estructuras son simultáneamente una forma de cultivo y un sistema de administración del agua de lluvia, que permiten producciones agrícolas en la topografía andina.

En resumen, los camellones son estructuras de captación, almacenamiento, infiltración, y administradores de todo el aporte de agua en periodos lluviosos. Resultarían además adaptables con sistemas de riego convencional que se podría usar para la época seca. (40)

Los camellones tienen interesantes finalidades, recogidas en el presente trabajo y resaltadas, como justificativos para revalorizar este tipo de estructuras de riego tradicional, para su replicabilidad y uso alternativo. (37)

Entre las características más relevantes se puede citar las siguientes:

- Pueden combatir las heladas: Por algunas mediciones y pruebas realizadas por Gregory Knapp (1992) en Cayambe, prueban que el agua estancada puede evitar la inversión térmica, esto es, mantiene sobre 0 °C al suelo, impidiendo que las heladas hialinicen la savia de las plantas allí sembradas. Las heladas se presentan en las noches, en los valles interandinos, tras días secos, soleados y sin viento, en el periodo junio a agosto. El agua retenida en los camellones y la que circula en los canales perimetrales del sistema, acumulan energía solar durante el día, liberando en la noche mediante irradiación en forma lenta hacia los camellones y hacia las plantas, creando un microclima y un efecto termorregulador. Las heladas que en la actualidad son temidas por los agricultores, podrían controlarse con los camellones.

- Logran el enriquecimiento del suelo: En los Andes Norandinos, había una carencia extrema de estiércol animal; apenas contaban con los desperdicios domésticos, humanos y de los cuyes, pero no eran suficientes. Debían encontrar alternativas para la recuperación de la fertilidad de los suelos. Los camellones servían para ese propósito, en el cieno acumulado de las zanjas inundadas, se depositaban los restos orgánicos de las plantas y elpreciado fósforo que bajaba de las laderas, arrastrado por las lluvias. El cieno era cuidadosamente recogido en la limpieza de canales de los camellones, que debieron realizarse en grandes mingas, tal como hoy se mantiene para la limpieza de las acequias. El cieno se depositaba en la cresta del camellón como abono enriquecido.
- Logran una producción intensiva de altos rendimientos y protegida de las heladas. El abono (cieno), permitía dos cosechas al año con una rotación de papas y maíz. Pruebas realizadas por Gregory Knapp (1992) usando el material de abono (cieno) extraído de acequias de baja corriente y adicionada a parcelas en producción, han demostrado rendimientos muy altos, comparables a los de cultivos con dosis ideales de químicos fertilizantes.
- Permiten un suministro efectivo de agua a las plantas: Los camellones pueden crear las condiciones para dotar de humedad directamente a la zona de crecimiento radicular de las plantas, ventaja que puede resultar importante para abastecer con mayor velocidad y localización el agua, para la efectiva satisfacción de las necesidades de lo cultivos.
- Permiten retener niveles adecuados de humedad: En el suelo de las camas de cultivo que constituyen cada camellón productivo, el agua acumulada en los canales, ingresa mediante procesos de conductividad hidráulica e infiltración lateral hacia los camellones. Este proceso sumado a la importante retención capilar por el suelo, por una mayor capacidad de retención de humedad en los suelos, debido a la buena agregación y estabilidad estructural que presentan los suelos en los que se usan camellones.

- La relación entre el volumen de agua y el volumen de suelo en los camellones que estarían en contacto continuamente, puede impedir el excesivo transporte de agua, que provocaría la putrefacción de las raíces de las plantas.
- De los sistemas de camellones identificados, se evidencia que pudieron ser estructuras permanentes, es decir que no se sometían a procesos de arado; una de las razones por las cuales estas estructuras mantenían la estructura del suelo, es decir parecería ser que en estos se practicaba agricultura de conservación de suelos (labranza cero), por lo que se podría deducir que estos suelos alcanzaban una estructura adecuada benéfica para el flujo de agua y las mejores condiciones para el crecimiento físico de las raíces, que son las que abastecen y determinan las mejores condiciones para el crecimiento del cultivo.

3.3.3 LAS TERRAZAS.

En distintas zonas de la Sierra ecuatoriana se ha observado la existencia de un escalonamiento artificial de las pendientes para uso agrícola. En la zona de Cayambe existieron huellas arqueológicas de manejo hídrico de terrenos inclinados, entre las cuales se mencionan las terrazas, las que se han observado en la zona de Paquiestancia, al Este de la parroquia Ayora y Norte de Cayambe, en la entrada del río San José.

La finalidad de estas construcciones, era reducir el grado de inclinación de la pendiente y retener la capa de suelo fértil impidiendo su lavado por parte de la escorrentía. Pueden estar sostenidas por muros de contención de bloques de cangahua y maleza. (35)

De exámenes en terrazas usadas para el cultivo en pendientes en la zona andina, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Estas terrazas producto de la intervención humana, fueron construidas por los aborígenes en los tiempos de la intervención incaica, aproximadamente entre 1470-1532, aprovechando las formaciones naturales, para formar diversos tipos de andenes, que buscaban ampliar la frontera agrícola, proteger sus

tierras de la erosión, mantener la humedad, mejorar la fertilidad por reducción de arrastre del suelo y nutrientes, para mantener sus niveles de producción, acorde a sus necesidades alimenticias.

- Las terrazas construidas, tenían dimensiones muy diversas: entre 5 a 60 metros de ancho, de 10 a 120 metros de largo, y de 2,5 a 20 metros de altura, de taludes reforzados con bloques de cangahua de distinta dimensión y orientadas en diversas direcciones, de acuerdo a las características topográficas de los sitios donde se construyeron.
- Varias de las terrazas han mostrado claros vestigios de acequias construidas en la parte superior, a las que hoy se conoce como “canales de desviación de aguas lluvias”, construidos para proteger a las terrazas de la erosión hídrica producida por las lluvias.
- En varias terrazas ha sido posible observar pequeños pozos construidos al lado de los andenes, de los que se derivaban pequeños canales o zanjas reforzadas con bloques de cangahua, que aprovechaban el agua lluvia o el riego existente, para humedecer las terrazas a través de estas pequeñas acequias de infiltración.
- Para permitir el drenaje en caso de exceso de lluvias, las pendientes de las terrazas variaban entre 3 y 8%, de manera que, el suelo de la terraza tenía entre 15 a 40 cm de capa arable útil para la producción y mostraron una mayor retención de la humedad que las parcelas en laderas sin terrazas.

Del sistema de terrazas andinas, es destacable, la presencia de los pozos de almacenamiento de agua lluvia (albarradas) y las zanjas de infiltración, que constituyen formas ancestrales de almacenamiento del agua con fines productivos. Esta misma técnica, se utilizó en caso que las terrazas disponían de riego permanente: el agua no ingresaba directamente a los andenes de cultivo, sino que llenaba los pozos de “cosecha de lluvias”, el agua ingresaba a la zanja de infiltración ubicada en la cabecera de las terrazas que tenía unos 40 cm de

profundidad, sin salida en el otro extremo, para irrigar por infiltración a la terraza, eliminando toda posibilidad de erosión hídrica. (35)

Las características que revalorizan el uso de Terrazas.

En la zona de implementación del proyecto se ha observado como característica típica, que los suelos son conformados por una capa superficial fértil y arable de no más de 40 cm de espesor, bajo la cual existe un estrato muy compacto de cangahua. Por esta característica mencionada, en terrenos de alta pendiente cultivados, la capa arable se ha perdido por erosión laminar y la cangahua sobresale a la superficie. Con estos antecedentes se propone el análisis de los sistemas de terrazas para implementación en la zona, como sistema de conservación de la capa de suelo cultivable, para evitar el problema de erosión que se presentaría en terrenos de alta pendiente cultivados en la comunidad.

Las características físicas y funciones agronómicas de las terrazas o andenes, de mayor interés para nuestros fines son:

1. Profundización del suelo.

La necesidad de profundizar el suelo pudo haber sido la causa inmediata para la construcción de terrazas, siendo su función, retener suelos poco profundos en las superficies de cultivo; o crear superficies de cultivo en terrenos no arables. La profundización se menciona frecuentemente en la bibliografía como una función principal en las actividades agrícolas en pendientes.

2. Control de la erosión.

En esencia, la formación de terrazas impide o reduce drásticamente la erosión del suelo, por lo que se podría pensar que una de las razones principales para construir andenes fue contrarrestar la pérdida gradual de suelos. Sin embargo se señala que el control de la erosión no era el objetivo para construcción de terrazas, se indican que los agricultores antiguos por lo general, carecían de perspicacia para realizar acciones preventivas que impidiesen los desastres que en el largo plazo resultan por la pérdida de suelo.

El argumento de que las terrazas no fueron específicamente instrumentos para el control de la erosión se fundamenta en parte, sobre la existencia de funciones principales alternativas tales como el riego.

3. Control microclimático.

Los andenes pueden crear microclimas favorables para los cultivos porque protegen contra las heladas, crean turbulencias de viento que impiden que el aire frío descienda directamente sobre los andenes sembrados, además controlan las características de la pendiente y el ángulo solar, para permitir la irradiación desde las paredes de las terrazas, lo que hace que se entibien las plataformas de cultivo. Esta característica puede resultar muy importante principalmente para cultivos sensibles a este fenómeno como el caso de maíz.

En un principio los primeros constructores posiblemente no previeron todas las ventajas microclimáticas del aterrazamiento, pero con el tiempo y la experiencia generada en muchos años de continuas prácticas agrícolas, podrían haberlas descubierto.

4. Control de humedad.

Un gran número de teorías sostienen que la retención de humedad y el riego fueron con frecuencia las funciones primordiales del aterrazamiento. Se pueden mencionar otras ventajas de las terrazas en relación con la humedad como:

- 1) La reducción de la pendiente permite la infiltración del agua en el suelo evitando la escorrentía.
- 2) Los suelos aplanados y más profundos permiten que las raíces de las plantas busquen la humedad retenida más establemente en un suelo plano y con el uso efectivo de toda la superficie de las raíces, que tiene mejor anclaje y contacto en un suelo de poca pendiente.
- 3) Las superficies aplanadas permiten que el agua adicionada a los cultivos como riego discurra en forma pareja sobre los suelos.

Muchas de las terrazas en algunas zonas andinas fueron destinadas al cultivo de maíz, ya que requiere abundante agua y es sensible al frío, no es por tanto un cultivo que prospera en regiones secas o frías sin las ventajas del aterrazamiento artificial, es por esto que la mano de obra invertida en la construcción de terrazas en las pendientes de los Andes, representan no solo adaptaciones a la topografía, sino también a la voluntad de producir un determinado bien. (35)

3.4 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA COMUNIDAD SANTA ROSA DE AYORA.

3.4.1 FACTOR SOCIAL.

La comunidad Santa Rosa de Ayora está ubicada al Norte de la Parroquia urbana de Ayora del Cantón Cayambe, y es parte de la UNOPAC (Unión de Organizaciones Populares de Ayora-Cayambe). Su población actual es de aproximadamente 220 familias, cada una con un promedio de 5 miembros. La comunidad pertenece a una zona intervenida por asentamientos humanos dispersos, desordenados y de baja densidad poblacional.

La comunidad se maneja por dos dirigencias mayores, por un lado la Directiva conformada por integrantes elegidos en reunión general de la comunidad, y por otro lado la Junta de Agua, que se dedica a los cobros y gestión del mantenimiento del servicio de agua potable, y a la vez del mantenimiento del tramo de la acequia “La Compañía” que cruza por la comunidad, el cual se lo planifica 2 veces al año, el primero en la época de invierno para eliminar las hierbas y malezas que han crecido en los márgenes del canal, y la segunda en final de la época de invierno, para limpiar los sedimentos y lodos acumulados en el fondo del canal.

La comunidad funciona como una organización regida por estatutos y reglamentos, esta organización les permite tener las condiciones para realizar peticiones directas al gobierno local de Cayambe o al gobierno provincial, peticiones tales como obras y materiales necesarios para la comunidad, previa la

presentación de propuestas justificadas. Es por esta categoría organizacional, que la comunidad ha conseguido los recursos y materiales para la construcción de dos reservorios, que captarán el turno de agua que les corresponde de la acequia Tabacundo, además la instalación del sistema de distribución desde una tubería principal, para riego por aspersión en las parcelas de la comunidad. Es importante destacar la colaboración y valores sociales de la comunidad, logrando una importante convocatoria a la minga, fuerza de trabajo conjunta y organización, que les ha permitido alcanzar importantes objetivos de beneficio conjunto.

En los últimos 10 años, la introducción de la actividad florícola ha sido importante, influyendo en las condiciones sociales de la zona. Así, un porcentaje considerable de habitantes, en especial jóvenes, trabajan en las empresas florícolas cercanas a la comunidad. Es a causa de esta actividad económica, que la agricultura ha pasado a segundo plano en importancia, aunque a menor escala que en tiempos pasados aún se mantiene su práctica, porque la agricultura constituye una fuente de alimentos, que permite un cierto ahorro del reducido pago que reciben de las florícolas, sumado a la cultura de las familias que siempre tratan de mantener sus propiedades de terreno productivas.

3.4.2 INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS.

La comunidad cuenta actualmente con los servicios básicos de agua, luz eléctrica y actualmente finalizando la cobertura de alcantarillado. Del servicio de recolección de basura es encargada la Junta de Agua de Ayora.

Las vías internas de la comunidad son caminos de segundo orden sin ningún recubrimiento superficial, y caminos menores únicamente para acceso a pie, hacia los terrenos de sembríos. Los caminos internos de la comunidad se dañan en la época de lluvia por la ausencia de canales perimetrales y por la falta de recubrimiento superficial. La topografía de los terrenos para la siembra es muy variada, pero con predominio de parcelas en pendientes moderadas y fuertes, en menor cantidad se pueden identificar terrenos en planicies.

La comunidad cuenta con el servicio de agua conducida por tubería, captada de vertientes de las zonas altas de las comunidades de la Chimba y Paquiestancia. El agua se almacena en un tanque de reserva ubicado en el lugar más alto de la comunidad “Rayo Loma”, sitio desde el que se logra la suficiente altura (presión en la conducción) para abastecer a todas las familias de la comunidad. El agua originada de vertientes, no cuenta con ningún tratamiento de potabilización, previo el consumo.

La cobertura eléctrica para la comunidad es satisfactoria, la totalidad de las viviendas disponen del servicio. En cuanto al alcantarillado, en el presente año se ha iniciado su instalación, con la gestión y trabajo conjunto entre el Gobierno Municipal de Cayambe y los miembros de la comunidad. El Municipio aporta con los materiales y los miembros de la comunidad aportan la mano de obra con la convocatoria de mingas.

3.4.3 FACTOR BIÓTICO.

La vegetación de la zona es predominante con árboles de eucalipto, en menor grado ciprés, pinos y muy pocos árboles nativos como el Aliso y Capulí. Se cuentan con arbustos menores como chilcas y pencos, los que sirven de lindero de separación entre las parcelas de cultivo. Existen además zonas de exclusivo uso para plantación de bosques de eucalipto para explotación, especialmente en terrenos de altas pendientes y con débiles aptitudes para la agricultura. También existen predios dedicados al crecimiento del pasto natural para alimentos de las vacas. Los cultivos tradicionales para alimentación en la zona, en orden de importancia son: la papa, el maíz, la cebada, trigo, habas, frejol, en menor grado están el cultivo de lechugas, brócoli y cebolla.

3.5 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS PUNTOS DE INTERÉS EN LA COMUNIDAD.

En la Tabla 3.1, se presenta la ubicación geográfica de los puntos de interés del proyecto, entre ellos se tienen las ubicaciones de las dos principales fuentes de

agua de la comunidad, así como la ubicación de parcelas para la potencial aplicación de la propuesta.

TABLA 3.1: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE INTERÉS DEL PROYECTO SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONALES

	Lugar	Coordenadas UTM		Altura (msnm)
		X	Y	
1	Captación de acequia Tabacundo para reservorio	821351	10010923	3070
2	Reservorio 1	821248	10010544	3050
3	Reservorio 2	820962	10010685	3041
4	Parcela para aterrazamiento y camellones	821172	10010097	3000
5	Parcela para construcción de albarradas	820906	10009652	3011
6	Acequia "La Compañía"	821220	10009573	2973
7	Cultivos familiares que se abastecen de la acequia "La Compañía"	821206	10009143	2952
8	Estación MA2T Tomalón Tabacundo	807981	10003689	2790
9	Estación M359 Cayambe	818441	10005964	2840

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Descripción de puntos:

1. Punto de captación del turno de agua que le corresponde a la comunidad, este caudal se conduce por tubería enterrada hacia el Reservorio 1, de mayores dimensiones y que se encuentra cercano.
2. Reservorio más grande construido en un terreno de aproximadamente 1300 m².
3. Reservorio de menores dimensiones construido en un terreno de aproximadamente 250 m².
4. Parcelas identificadas para aplicación de sistema de terrazas en sitio de alta pendiente y de camellones en su zona de baja pendiente.
5. Parcelas ubicadas en las laderas de la loma "Rayo Loma", para acumulación del agua de escurrimiento y frenar su proceso de erosión laminar y formación de cárcavas.
6. Lugar por donde cruza la acequia y de donde se capta el agua para regar por aspersion, las parcelas de la zona mas baja de la comunidad.

7. Cultivos que se riegan por sistemas de aspersión simple, aprovechando la diferencia de altura de 21 metros, desde la captación de la acequia “La Compañía” hasta las parcelas de siembra.
8. Estación agrometeorológica Tomalón Tabacundo MA2T – INAMHI.
9. Estación pluviométrica Cayambe M359 – INAMHI.

En el Anexo N° 2, se presenta un mapa preparado con capas de Sistema de Información Geográfica, con la ubicación de los puntos descritos.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS PARA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE LA ZONA.

En éste numeral, se describen los principales recursos naturales que hace posible la producción agrícola, éstos son: el suelo, agua (acequias y reservorios) y el clima. El clima es uno de los elementos de análisis pormenorizado para definir valores de precipitación, evapotranspiración y demás factores derivados, para desarrollar el balance hídrico para la planificación general de riego en la zona y para evaluar las ventajas hídricas de los sistemas de riego tradicionales antiguos.

3.6.1 RECURSO SUELO.

En base al mapa de suelos del programa de regionalización agraria del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Pronareg- Orstom, 1980), mapa de la región de Cayambe, escala 1:50.000, se sobrepone un mapa físico de la misma escala de la zona de Cayambe, en donde se han ubicado los puntos UTM de los lugares identificados para aplicación de la propuesta, identificándose que los suelos de las zonas de interés son del tipo C, de textura arcillo-arenosa a francos, de color negro. Este tipo de suelos, tienen en especial un considerable potencial de erosión natural de solifluxión y derrumbes, principalmente en terrenos de pendientes mayores a 40%.

Las subclases específicas determinadas sobre las que se asienta la mayoría de parcelas de cultivo en la comunidad Santa Rosa, se presentan en la Tabla 3.2.

TABLA 3.2: DESCRIPCION DE SUBCLASES DEL SUELO TIPO C

Sigla	Características:
Cm	Cangahua sin meteorización a 70 cm de profundidad. Con horizonte más negro un poco duro, de 40 a 70 cm de profundidad
Cn	Cangahua sin meteorización a 20 cm de profundidad, con horizonte más negro y un poco duro de 30 a 40 cm.

FUENTE: Leyenda de Mapas de Suelo. PRONAREG - MAG Ecuador, 1980

Este tipo de suelos tiene un régimen de temperatura Isothermic, es decir que mantienen temperaturas de suelo de 13 a 20 °C a 50 cm de profundidad. Se mantienen secos menos tres meses cada año, y tienen un régimen de humedad Ustic-Udic. Según la Soil Taxonomi USDA, son suelos de clasificación Durustol, Ashy Halloysitic. (30)

3.6.1.1 Régimen de humedad de los suelos.

Ustic: La parte del suelo que es más utilizable para los cultivos (sección de control de humedad), está seca más de tres meses consecutivos, pero la humedad en algunas partes dura mas de seis meses. Permiten los cultivos de ciclo corto sin riego, pero con irregularidad. (31)

Udic: El suelo no está seco en todo el perfil más de tres meses consecutivos la mayoría de los años.

La mayor parte de los suelos en la región, dentro del que se ubica la zona de éste trabajo, se originaron a partir de cenizas volcánicas y presentan propiedades ándicas, por lo que su clasificación según la taxonomía americana (USDA) corresponde a Andisoles, que son suelos negros de formaciones volcánicas, en lugares de topografía ondulada y montañosa. (31)

La humedad persistente en este tipo de suelos, puede hacer que la cangagua se desintegre y se meteorice. Se forma un poco de arcilla y con frecuencia puede aparecer un delgado horizonte argílico (MAG, 1980). Este horizonte de arcilla limosa delgada, se debe más a la meteorización de la cangagua que al movimiento de arcilla.

3.6.1.2 Clasificación de pendientes de suelos.

Según la clasificación de pendientes para la zona, se determina que los suelos en la zona de Santa Rosa de Ayora son de clasificación grado 2, 4 y 5. (30)

Grado 2: Pendiente suave y regular entre 5 a 12 %, buenos para prácticamente todas las operaciones de mecanización (suelos sin piedras), y no hay dificultades para regar.

Grado 4: Pendientes regulares de 12 a 25% o irregular con micro relieve de 12 a 20%, en donde la mecanización aun es posible, y se presentarían dificultades para regar.

Grado 5: Pendientes fuertes de más 20 a 25% y de menos de 50%, en los cuales el laboreo y mecanización si es posible con tractor, se presentan grandes dificultades para regar, hay peligro de erosión y derrumbes.

3.6.2 RECURSO AGUA Y SU GESTIÓN.

Son beneficiarios de una parte del caudal de la acequia Tabacundo las comunidades de la UNOPAC (Unión de Organizaciones Populares de Ayora-Cayambe), de la cual es parte la comunidad Santa Rosa de Ayora, por lo cual tiene derecho a la asignación de aproximadamente 4 a 5 turnos al mes, un turno constituye la captación de una parte del caudal de la acequia Tabacundo, por un día completo (24 horas). La comunidad es también beneficiaria, del caudal de la acequia "La Compañía", que cruza directamente por los terrenos de la parte más

baja de la comunidad, por lo que; solo las familias que tienen terrenos bajo la altura de la acequia, se pueden beneficiar de su caudal para usarlo en riego.

Si bien es destacable como positivo, el sistema de administración del uso de las aguas de las acequias, para riego, mediante las Juntas de Aguas locales; notándose que en muchos casos operan en forma independiente, sin un lazo con planes a futuro, sin anclaje a una política local de desarrollo y gestión específica del recurso agua de acequias para riego, que considere propuestas de uso adecuado del agua, como un elemento importante de desarrollo comunitario, de conservación de recursos y auto provisión de alimentos. (29)

En la actualidad, la red de acequias en la comunidad, es manejada por la Junta de Riego (o Junta de Agua), son las que definen la concesión sobre la base de la necesidad de la persona solicitante, estimada según el total de área de terreno que posea. De ésta manera se concede lo requerido por un período de tiempo determinado. Las Juntas de Riego, determinan sus necesidades económicas y mano de obra para el año de operación, para fijar las cuotas y días de mano de obra que deben cumplir sus miembros de acuerdo al volumen de agua que cada uno utiliza.

En cuanto a la efectividad de gestión, resulta relativamente práctica la administración del agua de las acequias, por las juntas de agua con miembros de las mismas comunidades beneficiadas, en comparación del modelo que las autoridades locales pretenden implementar, esto es, su administración en función de su idealizada y no socializado procedimiento de administrar el agua.

3.6.2.1 Fuentes de agua para riego en la comunidad.

La acequia “La Compañía”:

Ubicación: Parte baja comunidad Santa Rosa de Ayora

Característica: Canal de sección rectangular sin recubrimiento, tiene un considerable ancho de canal (2.4 m) y la velocidad de corriente es muy baja.

El caudal de la acequia, se determina con el método del flotador determinando el tiempo y distancia de recorrido con un flotador y la medida del área en una sección de referencia de la acequia.

TABLA 3.3: CAUDAL DE LA ACEQUIA LA COMPAÑÍA

Sección transversal de acequia (m ²):	0.96
Distancia (m):	10
Tiempo de recorrido (seg):	54.7
CAUDAL (m³/seg)	0.18

Fuente: Elaborado por Bolívar Erazo

La acequia Tabacundo:

Ubicación: Parte alta de la comunidad Santa Ana, zona de captación de turno de agua para el reservorio de agua del proyecto de riego en la comunidad Santa Rosa de Ayora.

Característica: Canal de sección rectangular, recubierta de hormigón, su velocidad de corriente es muy alta.

Se procedió a la medición del caudal de la acequia, con el método del flotador de igual manera como se procedió con la acequia “La Compañía”.

TABLA 3.4: CAUDAL DE LA ACEQUIA TABACUNDO

Sección transversal de acequia (m ²):	0.74
Distancia (m):	10
Tiempo de recorrido (seg):	14.5
CAUDAL (m³/seg)	0.51*

*Caudal medido con evidencia de lluvia en la zona alta de su nacimiento

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

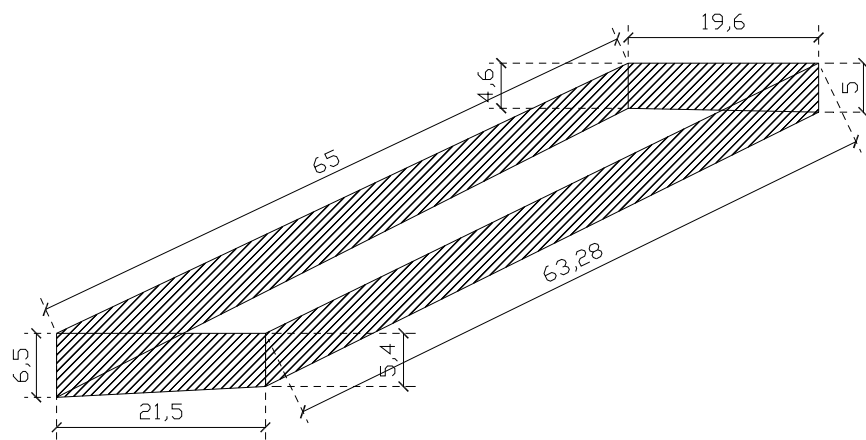
3.6.2.2 Reservorios de almacenamiento de agua.

Los reservorios construidos son excavados en el terreno y servirán para captar el turno de agua de la acequia Tabacundo, al cual tiene derecho la Comunidad Santa Rosa de Ayora.

En la Figura 3.5 se presentan las dimensiones y volumen de acumulación de agua de los Reservorios 1 y 2 construidos para el proyecto de riego por aspersión de la Comunidad Santa Rosa.

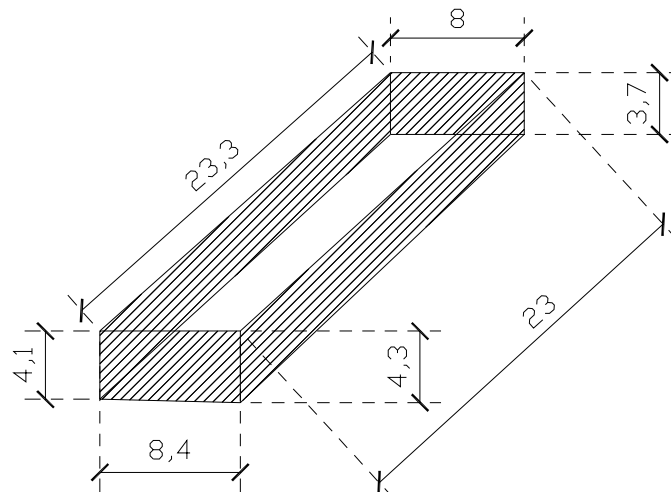
FIGURA 3.2: RESERVORIOS DE ACUMULACIÓN DEL TURNO DE AGUA, DE LA ACEQUIA TABACUNDO

Reservorio 1



Volumen de almacenamiento calculado: 6203.4 m^3

Reservorio 2



Volumen de almacenamiento calculado: 689.68 m^3

3.6.3 CONDICIONES CLIMÁTICAS.

Usando datos de 15 años de registros de la estación agrometeorológica Tomalón-Tabacundo, estación determinada como la de mayor representatividad y de mejor contenido de información, se presenta una descripción general de las condiciones climáticas de la zona. El análisis de precipitaciones de la zona constituye el principal aporte natural de agua para los cultivos, y la relación de los factores temperatura, viento, humedad relativa, junto con análisis heliofanía para obtener el factor de la radiación solar, definen las necesidades de agua de los cultivos, por medio del fenómeno de la evapotranspiración.

La **temperatura** promedio multianual para la zona es de 15.44 °C, en función de los datos de temperatura media anual, se tiene que los meses de mayor temperatura son agosto y septiembre, y los de menor temperatura son enero, febrero y noviembre. (18)

La **precipitación** media multianual definida para la zona es de 592.2 mm. Los meses con mayores precipitaciones son marzo y abril con valores promedio de 77.9 y 82.6 mm respectivamente y los de menores precipitaciones son julio y agosto con valores promedio de 11.4 y 7.7 mm respectivamente. El máximo valor de precipitación se registró en abril con un valor de 196.6 mm y los valores mínimos en julio y agosto con 0 mm. (18)

En cuanto a la presencia de **vientos**, se presentan los mayores valores de velocidad de viento en los meses de julio y agosto con valores de 10 y 12.3 km/h respectivamente. Los meses con menores valores de velocidad de viento son marzo, abril y noviembre con valores de 4.5; 4.2 y 4.5 respectivamente. (18)

La **humedad relativa** promedio para la zona es de aproximadamente 71 %, con un rango de variación entre 50 y 89 %. Los meses de mayores valores de humedad relativa son coincidentes con los meses de mayores precipitaciones. (18)

3.7 CONDICIONES ACTUALES DE LA COMUNIDAD SANTA ROSA DE AYORA ENTORNO A LA AGRICULTURA.

La comunidad Santa Rosa de Ayora, presenta como evidente actividad tradicional, la agricultura familiar, seguida de la actividad ganadera simplificada, conjuntamente con la cría de animales de corral, como los cerdos, gallinas y cuyes. La totalidad de predios de la zona son usados para el cultivo de productos tradicionales, o para el pastoreo de vacas. Las áreas de terreno son propiedad de los mismos habitantes de la comunidad y no son de grandes extensiones, los terrenos por cada familia propietaria no sobrepasan los 5000 m² (1/2 Ha).

Previo a la actividad florícola, la agricultura fue la principal actividad económica de la comunidad, en segundo plano la ganadería (a escala mínima), es decir; la crianza de 2 a 5 animales vacunos en cada familia, pastoreados en los campos libres, perímetros de caminos de la comunidad, en los mismos predios familiares con pasto sembrado, o la vez, el uso de los rastrojos de las cosechas, como fuente de alimento para sus animales.

La comunidad Santa Rosa de Ayora, mantiene activa la siembra de cultivos tradicionales como son: el maíz, papas, cebada, trigo, fréjol, habas y pequeños huertos de; lechuga, coliflor y brócoli. Asociada a la siembra de estos productos también se ha introducido el uso de fertilizantes y pesticidas, adquiridos en los comercios de la ciudad de Cayambe, pero sin ningún asesoramiento específico en cuanto al procedimiento, cantidad y frecuencia de su aplicación. Esta práctica del uso de agroquímicos, ha introducido en la comunidad el equivocado concepto, que mientras más cantidad de abono químico o pesticida se adicione al suelo y plantas en crecimiento, se tendrán los mejores resultados de producción, y menores riesgos de perder sus cultivos. Se ha mencionado incluso que su forma de medir la cantidad de pesticida que deben adicionar, es justamente en el punto que ciertas plantas tienen un leve marchitamiento del cual se recuperan.

La decisión del uso de agroquímicos en los cultivos, no siempre estará en función de obtener la mayor producción, sino, más bien está en función de la disponibilidad de dinero al momento de sembrar. Si no hay el dinero para comprar

fertilizantes químicos o pesticidas, se siembra igualmente, pero con el miedo latente de que el cultivo se deteriore por plagas, heladas y cambios bruscos de clima. En este punto, sería importante para la comunidad Santa Rosa de Ayora, la aplicación de prácticas agroecológicas básicas, que reemplacen el uso de químicos fertilizantes y pesticidas, que además de representar un gasto económico para las familias, representa también un riesgo en la salud de los consumidores de éstos productos.

En referencia al recurso suelo, existen problemas de erosión en los terrenos de las zonas de pendiente alta. Es notable la presencia de erosión laminar solifluxión, en terrenos donde se nota la pérdida del suelo, capa por capa, de forma que el espesor del horizonte se ha reducido, en otros casos, la formación de cárcavas menores por donde circulan los excesos de agua de escorrentía, identificado como el principal fenómeno responsable de los mayores procesos de erosión. También se pueden notar, varios tipos de desprendimientos del suelo en zonas con evidencia de actividad agrícola anterior, en terrenos de pendiente alta. Las actividades de arado en terrenos de la comunidad, es manual en parcelas pequeñas y mecánica con el alquiler de tractor, para las parcelas de mayores dimensiones.

Se puede deducir, el ciclo de vida típico de los suelos que no han tenido adecuadas prácticas agrícolas, como suelos donde existe evidencia de compactación por pastoreo excesivo, son los suelos que están actualmente bajo cobertura de eucaliptos. Inicialmente debieron ser utilizados en agricultura intensiva; luego una vez que disminuye la productividad y se introduce la ganadería, pasan a ser usados en pastoreo continuo y finalmente; si son de ladera, se convierten en cultivos de eucalipto para aprovechamiento maderable.

3.8 PARCELAS PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONAL.

En la comunidad Santa Rosa de Ayora, se identificaron parcelas familiares para la potencial implementación de sistemas de riego tradicional, cuyo principal objetivo,

será lograr el uso y aprovechamiento efectivo del agua de aportes de lluvia. El agua de los reservorios puede servir para aportar agua a las parcelas de diferentes formas; y no únicamente del planificado sistema de riego por aspersión.

La presente propuesta, se encamina a lograr el uso de las estructuras de riego tradicional del tipo camellones, terrazas y albarradas, propuestas como captadoras, acumuladoras y dosificadoras del agua a las parcelas. Se pretende introducir su uso permanente en el tiempo, para evitar tanto los excesos erosivos de agua en forma de escorrentía que se presentan en eventos de alta intensidad de precipitación, así como, manejar adecuadamente la adición de agua de fuentes artificiales, en los meses con déficits de agua lluvia, para satisfacer las necesidades definidas por la evapotranspiración de los cultivos.

La topografía de la comunidad es muy variada, presenta una distribución de planicies, terrenos de bajas, medias y altas pendientes, por lo que resulta un escenario muy interesante para proponer el uso real de la presente propuesta.

Se pueden proponer, sistemas de recolección de aguas de lluvia en pequeños reservorios infiltrantes o albarradas, que se ubiquen en las partes más altas de las pequeñas lomas cultivadas, el uso de sistemas de camellones para las parcelas en planicies o en pendientes ligeras o medias, y finalmente, la propuesta de implementación de andenes o terrazas, en terrenos de alta pendiente con potencial peligro de erosión por escurrimiento de suelo productivo.

Adicionalmente; se debe considerar que la comunidad planifica la implementación de un sistema de riego por aspersión, que utilizará dos reservorios de agua en construcción, ubicados en la comunidad vecina del norte, Santa Ana. Además se puede pensar en las propuestas para lograr efectividad de uso de agua, manejando en conjunto los dos tipos de sistemas de riego, tradicional y aspersión.

En la Tabla 3.5, se describe las características generales de las parcelas para las que se propone aplicar la propuesta. En cada, uno se toma en cuenta las características físicas y el sistema tradicional apropiado que puede usarse.

TABLA 3.5: PARCELAS PARA APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL

Característica		Tipo de Terreno		Sistema de cultivo y riego tradicional adecuado
		Pendiente [%]	Área [m ²]	
Terreno mixto, alta pendiente y parte plana	Zona de alta pendiente	45.8	559.2	Terrazas
	Zona de baja pendiente	0.06	1352	Camellones
Terreno en ladera de loma		0.18	4680	Albarradas

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

3.9 EL CONOCIMIENTO Y COMPROMISO DE LA COMUNIDAD ENTORNO A LOS SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL.

En las visitas de campo para reconocimiento de las necesidades agrícolas de la comunidad, se identificaron las parcelas de aplicación del proyecto. Si bien existe desconocimiento acerca de los detalles y ventajas de los sistemas de riego tradicional, como los camellones y albarradas, le resulta más familiar a los agricultores los sistemas de terrazas. Los miembros con quienes se ha mantenido conversaciones, no se han mostrado cerrados al conocimiento de más beneficios y como los podrían construir. Se ha logrado incrementar el interés, al mencionar que no les representa gastos económicos considerables, que sus ventajas en el corto y mediano plazo pueden ser importantes, además que los sistemas propuestos son adaptables al nuevo sistema de riego por aspersión, que la comunidad construye.

Es importante, la capacitación sobre estos sistemas para contar con el compromiso de la comunidad y el aporte de mano de obra para su construcción y mantenimiento. La comunidad, puede superar ese obstáculo con organización y convocatoria a mingas, trabajo conjunto con el que han logrado múltiples propósitos, por sus valores aun vivos de comunidad y trabajo de ayuda mutua para alcanzar objetivos comunes. Es así que los recursos para su construcción, se los obtienen de la misma comunidad, los conceptos y ventajas se los ha podido comunicar con relativa facilidad en esta fase de acercamiento. Se ha relacionado

la natural comprensión e interés, por el origen histórico de las estructuras de riego tradicional, se conoce que éstos se crearon y evolucionaron de la interacción entre el hombre y el entorno Andino y su necesidad de producir alimentos, sobre las limitaciones de lograr producciones agrícolas importantes, en la topografía accidentada de los Andes.

La comunidad Santa Rosa de Ayora, mantiene una necesidad frecuente y continua de satisfacer sus necesidades alimentarias, trabajando sus tierras para lograr la mejor producción. Para alcanzar éste objetivo, tienen que superar las limitaciones topográficas de sus terrenos y la disponibilidad de agua; en la búsqueda de las soluciones han generado sus conocimientos basados de experiencias acumuladas, que pueden resultar poco tecnificados y desordenados, pero usándolos en conjunto con información técnica, se pueden lograr adaptaciones importantes y a la vez congruentes con las costumbres y objetivos agrícolas de la comunidad.

Ha resultado de mucha utilidad, la metodología de primero preguntar cuales son los problemas y limitaciones en la agricultura, para dar solución a los problemas reales y no crear la solución de un problema idealizado por el técnico, sin conocer de las necesidades de la gente. En varias visitas de campo y conversaciones con miembros de la comunidad, son la mayoría quienes han respondido, que su principal preocupación es la temporada seca, en donde; no únicamente no pueden sembrar, sino que, no hay pastos para alimento del ganado. En segundo lugar, se ubica la falta de dinero para comprar agroquímicos para aplicar a los suelos y cultivos. En tercer lugar, se encuentran los riesgos de heladas, excesos de lluvias y cambios bruscos de clima, que afectan principalmente a los cultivos de papa y finalmente se encuentra la pérdida de productividad de los suelos por erosión.

Al mencionar, que los sistemas de riego tradicional como los camellones, albardas, terrazas y prácticas de agroecología que se podrían introducir en la comunidad, se pueden constituir en una potencial solución a sus preocupaciones, se logra un acercamiento importante para crear un verdadero compromiso de apoyo para el proyecto.

CAPITULO 4

ANÁLISIS HÍDRICO, DE PRÁCTICAS COMUNES DE CULTIVO Y DE SISTEMAS TRADICIONALES

En la planificación inicial de un sistema funcional de riego, se debe obtener un balance hídrico, basado en las condiciones climáticas de la zona. En la presente investigación se usan los datos de las estaciones más cercanas al lugar del proyecto, tanto para desarrollar los cálculos de estimaciones de evapotranspiración de los cultivos, como para determinar la cantidad de precipitaciones que se pueden esperar en cada mes, y definir adecuadamente la cantidad total de lluvia que puede ocurrir durante el ciclo de los cultivos. Además, es importante definir los meses en los que la cantidad de precipitación puede suplir la evapotranspiración de los cultivos, en contraste los meses en los que sería necesaria la adición de agua de una fuente externa, para suplir las altas evapotranspiraciones de temporadas de bajas precipitaciones.

Los principales factores para el desarrollo de éste balance, serán las precipitaciones que son; el aporte natural de agua y la evapotranspiración como la principal pérdida de agua, éstos factores estimados con valores de la estación climática más adecuada y cercana. Los fenómenos de escurrimiento, infiltración y almacenamiento, se los puede considerar, como procesos intermedios que ocurren entre la precipitación y evapotranspiración, fenómenos que se los puede estimar usando información secundaria.

Factores que se consideran en el balance hídrico:

Del clima:

- Precipitación.

Del suelo:

- Infiltración.
- Escurrimiento.

- Almacenamiento de agua.

Del cultivo:

- Evapotranspiración del cultivo ETc en sus etapas de crecimiento.

Ocurrencia de procesos:

Para analizar los procesos mas ajustados a la realidad de los procesos hídricos agrícolas, se considera en primer lugar el aporte de agua por precipitación, con lo cual se provoca los fenómenos de infiltración, escurrimiento superficial, retención de agua en el suelo, entre otros. De estos procesos continúa el de evapotranspiración, que representa las necesidades de agua de los cultivos en sus diferentes etapas de desarrollo, que además es función de las condiciones climáticas.

CUADRO 4.1: PROCESOS HIDRICOS AGRICOLAS

Aporte	Procesos Intermedios	Consumo
Precipitación	Infiltración	Evapotranspiración
	Escurrimiento superficial	
	Almacenamiento de agua	

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

4.1 MANEJO DEL AGUA DE LOS SISTEMAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONALES.

La introducción del uso de los sistemas, estructuras y formas de riego tradicional pretende controlar los valores de escurrimiento del agua de lluvia, con el fin de lograr que el aporte atmosférico natural de agua, pueda ser considerado precipitación efectiva, disponible para uso del cultivo. Se pretende alcanzar la mayor retención, captación y distribución del agua de lluvia de aporte natural en las parcelas.

Es importante mencionar, que los sistemas de riego tradicionales lograrían los mismos efectos en las épocas secas, en donde se aporte agua a las parcelas por medio de sistemas de riego que se abastezcan del agua acumulada en los reservorios de la comunidad. Estos aportes artificiales de agua, se pueden

manejarán afectivamente, minimizando las pérdidas por escorrentía e incrementando el tiempo retención del agua, manteniéndola en condiciones para el efectivo aprovechamiento de los cultivos.

Cada tipo de sistema tradicional tiene sus características específicas para captar y conducir el agua; a continuación se describen las principales.

4.1.1 MANEJO DE AGUA EN CAMELLONES.

Se planificará para la comunidad Santa Rosa de Ayora, la construcción de camellones en las partes planas y/o de pendientes leves, en la parcela que se ha identificado para aplicación, es efectivamente un terreno de muy baja pendiente 0,06%. Los camellones contarán con canales de separación y conducción de agua, diseñados con los valores de intensidad de lluvia en 24 horas y un periodo de retorno de 5 años. Se pretende captar toda el agua de lluvia en los canales, para minimizar o eliminar el proceso de escorrentía, además el agua puede mantener contacto con las paredes laterales de los montículos de siembra (camellón), para que se pueda infiltrar en éstos y pueda ser utilizada por los cultivos. Es importante tener en cuenta, que los canales de agua que se construyen entre los camellones, no deben representar una disminución del área efectiva de siembra.

Además es importante, lograr el almacenamiento del agua en el suelo de los montículos de siembra (camellones), con esto alcanzar una temporal reserva de agua que no esté en directa exposición a la radiación solar. En el diseño y construcción del sistema de camellones, se calculan las dimensiones generales, altura de camellones, profundidad de canales, disposición y forma de los montículos, sobre los que se pueden sembrar los potenciales cultivos de la zona.

4.1.2 LAS TERRAZAS.

Las terrazas son estructuras factibles de construir en los terrenos de altas pendientes de la comunidad. Se ha identificado una parcela de siembra de

pequeñas dimensiones y de alta pendiente, para la cual se diseñará la propuesta. Se propone este tipo de estructuras para cultivo, porque en la comunidad es un problema real, la erosión por desprendimientos y arrastre de suelo en terrenos de alta pendiente. En la parcela identificada se diseñará la propuesta de terrazas, las cuales tendrán fines de captación del agua lluvia para la prevención de erosión hídrica.

En las terrazas construidas se suavizará la pendiente de las parcelas, excavando las secciones inclinadas, con el fin de nivelar la superficie, hasta alcanzar una pendiente considerablemente menor, capaz de retener el suelo cultivable superficial, en contra de la fuerza de gravedad y de la fuerza erosiva de una corriente de agua que escurra por la ladera. Con un sistema de terrazas bien diseñado se puede lograr una mayor infiltración del agua de lluvia o de riego artificial. Las terrazas aseguran un mayor tiempo de retención del agua en cada planicie lograda en la ladera. Por la forma y disposición de las zonas de siembra en una terraza, se logra una evidente reducción del escurrimiento del agua, ya que se logra la disminución de su velocidad de tránsito, con lo que se alcanza una mayor retención del agua en sus estructuras, además se evita que para mediano y largo plazo las parcelas en alta pendiente, sufran erosión hídrica y se vuelvan inutilizables para la agricultura.

4.1.3 ALBARRADAS.

En este tipo de estructuras, se logra la captación de agua en un orificio de cabecera en lomas o terrenos cultivados con pendiente media o alta. Sus dimensiones se definirán en función del volumen de agua que puede capturar de las lluvias. El objetivo de estas estructuras es infiltrar sub-superficialmente el agua capturada, hacia el suelo cultivado, ubicado abajo de estas estructuras, para esperar que llegue a tener contacto subterráneo con las raíces de los cultivos.

Estas estructuras, pueden capturar la escorrentía proveniente de terrenos más altos para dosificarla a terrenos más bajos por infiltración, se podría considerarlos como reservorios rústicos, que capturan temporalmente los excesos de agua de

escorrentía para dosificarla al terreno sobre el que se ubican. Puede ser una opción el uso de albarradas en la cabecera de terrenos, en los que se planifique la construcción de terrazas.

4.2 BALANCE HÍDRICO AGRÍCOLA PARA LOS CULTIVOS DE LA ZONA.

Se desarrolla un balance hídrico, considerando los ingresos y las pérdidas de agua, para definir los valores de irrigación de aporte natural (I_n) que la lluvia genera en beneficio de los cultivos. Si en el balance se obtiene valores que expresan un deficiente aporte de irrigación natural por lluvia, se debería planificar la adición de agua de manera artificial, para suplir las pérdidas. El beneficio de los sistemas de riego tradicional, en específico, camellones y terrazas, es la administración del agua de irrigación natural (lluvias), para evitar de cualquier manera, la escorrentía erosionable, además mantenerla en condiciones de almacenamiento temporal en sus canales de captación, tanto para actuar como agente regulador de temperatura en eventos de heladas y para mantenerla en contacto con el suelo, sobre el que crece el sistema radicular de las plantas.

Considerando el balance general se pueden deducir la relación para calcular el riego por aporte natural y las necesidades de riego.

Aportes = Pérdidas

$$P + Alm = ET_c + D_p + E_s \quad (4.1)$$

Donde:

- P: Precipitación mensual, obtenida del análisis de los registros históricos.
- ET_c : Cantidad de agua perdida por evapotranspiración desde el suelo por medio de los cultivos hacia la atmósfera.

- Alm: Variación en el contenido de agua de un suelo (inicial – final), dentro de un período dado y para una profundidad dada.
- Dp: Pérdidas de agua de la zona radicular, por percolación o drenaje profundo.
- Es: Escurrimiento superficial del agua en exceso que no se infiltra.

La expresión que se utiliza para definir el balance de agua en la época de lluvias, en la que se cuenta con el aporte natural de agua, y para la época seca, en la que es necesario el aporte externo de agua, es básicamente la misma. Los factores que difieren en función de la época de crecimiento de cultivos, son la precipitación y la evapotranspiración.

En términos generales se puede esperar, precipitación alta y evapotranspiración baja en los meses de lluvias, y precipitación baja y alta evapotranspiración en los meses secos.

La relación a usarse tanto para meses con lluvias y meses secos, es la siguiente:

$$\text{Irrigación de aporte natural (I}_n\text{)} = P - E_s - E_{Tc} + \text{Alm} - D_p \quad (4.2)$$

Interpretación de valores de I_n

- **Valores positivos:** Representan que el aporte natural por lluvias de la época, satisface las necesidades de agua de los cultivos, además; que existe un exceso de agua que puede ser captado dentro de los canales de acumulación en camellones y terrazas.
- **Valores negativos:** Representan la cantidad de agua necesaria que debería adicionarse de una fuente artificial, para satisfacer la demanda consuntiva del cultivo, que el agua de lluvia de la época no puede satisfacer por completo.

Además, considerando que la precipitación efectiva se la estima de la relación:

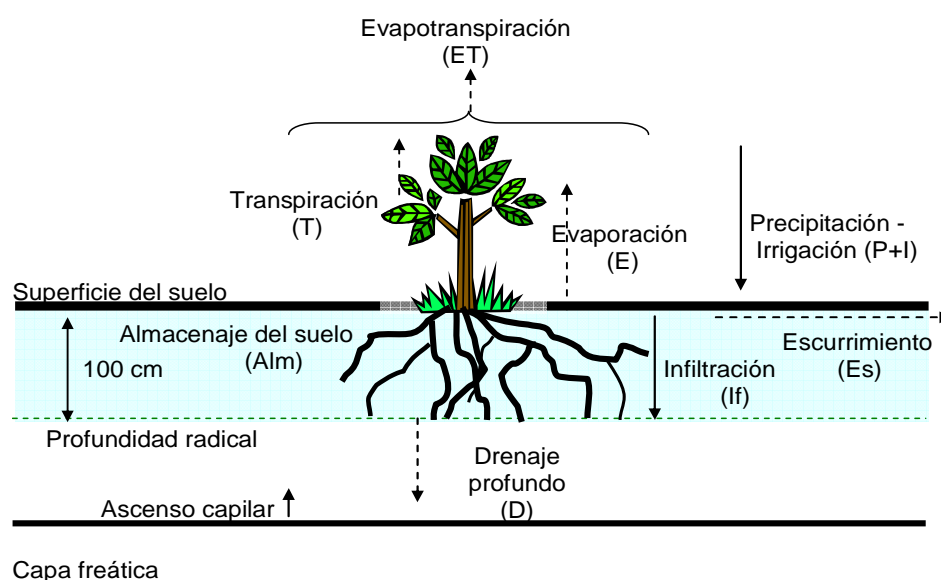
$$P_{ef} = P - E_s \quad (4.3)$$

La expresión de balance se reduce a:

$$In = P_{ef} - ET_c + Alm - D_p \quad (4.4)$$

En la siguiente figura, se observa un esquema de balance de agua de un suelo cultivado.

FIGURA 4.1: ESQUEMA GENERAL DE UN BALANCE HÍDRICO AGRICOLA



FUENTE: Micucci F.G y M.A Taboada, 1998.

Para disminuir las pérdidas por drenaje profundo (D_p), que pueden producir el lavado de importantes nutrientes de la zona radicular, la adición de agua para irrigación, debería ser menor o igual que el agotamiento de humedad en la zona radicular del suelo, para mantener un equilibrio. Además la estimación del almacenamiento de agua en el suelo, serán valores representativos para demostrar el fenómeno, pero no para considerarlo en el balance hídrico mensual, ya que el flujo de agua entre el aporte (natural o artificial) infiltración en suelo, drenaje, transferencia de agua del suelo a las raíces, y evapotranspiración, son fenómenos que ocurren de una manera mas compleja. Por lo que para nuestro análisis únicamente utilizaremos los valores

estimables con datos climáticos de registros medidos y reales, como son la precipitación y la evapotranspiración estimada en función de datos climáticos.

4.2.1 BALANCE HÍDRICO CON APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL.

Para lograr un balance hídrico positivo y crear las mejores condiciones de crecimiento de cultivos, básicamente se debe optimizar los aportes y disminuir las pérdidas por evaporación y escorrentía. Los sistemas del tipo camellones y terrazas tienen un control muy evidente y notable sobre la escorrentía para disminuirla, procurando que el valor de balance hídrico, pueda ser positivo, adicionalmente se pueda tener un exceso de agua controlable y acumulable en los canales de camellones y canaletas en terrazas.

Por lo que se puede definir una expresión de balance hídrico específico, que se puede obtener con la aplicación de sistemas de camellones y terrazas principalmente. El factor de drenaje profundo es de difícil estimación o medición, por lo que no se lo considera en el balance hídrico con sistemas de riego tradicional.

La relación de balance hídrico con uso de sistemas tradicionales, eliminan el factor escorrentía, obteniéndose:

$$\text{Irrigación natural con camellones y terrazas} = P - ET_c + \text{Alm} \quad (4.5)$$

4.2.2 ESTIMACIÓN DE LA OCURRENCIA DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (P).

Es indispensable conocer la principal fuente de aporte de agua natural, que es la precipitación, para obtener valores representativos de lluvias mensuales para usarlos en la relación de balance hídrico.

Es necesaria la predicción de las lluvias para la zona del proyecto, partiendo de la obtención de los valores medios mensuales junto al valor de desviación estándar, con los datos de lluvias disponibles. Así, los valores de lluvias deducidas de datos históricos, pueden indicar el volumen natural de agua que cabe prever para desarrollar una planificación.

Se debe considerar que para la obtención de un valor práctico y realista de la lluvia, será importante contar con registros mínimos de 10 años, con el fin de lograr mejores resultados e incluir años que puedan pertenecer a periodos secos o muy lluviosos, para asegurar la obtención de valores representativos para el patrón de lluvias a mediano y largo plazo.

Un valor práctico y realista de la lluvia que se utiliza con frecuencia, es el de las lluvias mensuales medias que se producen con carácter de probabilidad tres años de cada cuatro; esto supone una escasez de lluvia un año de cada cuatro.

Los datos obtenidos de lluvia, servirán de referencia para obtener el balance hídrico que sirve para evaluar, si las necesidades de los cultivos son abastecidas en los meses de siembra, desarrollo y producción de cultivos que la comunidad acostumbra planificar. Además, es de utilidad para evaluar las pérdidas por escorrentía que se generaría usando prácticas de cultivo comunes, del tipo surcos rectos en dirección de la pendiente, siembra en contornos simples y formando pequeñas terrazas, que son formas típicas actuales de cultivo que se usan en la comunidad. La propuesta de uso de camellones y terrazas, se dirige a eliminar las pérdidas por escorrentía, acumulando toda el agua de lluvia, aún de los eventos de altas intensidades de precipitación, logrando la mayor captación de agua, con lo que además, se logra proteger el suelo de la erosión que causa la escorrentía.

Análisis de precipitaciones en la comunidad Santa Rosa de Ayora.

Para los fines del proyecto, se procedió a determinar los valores de lluvia mensual. Se usan los datos obtenidos de la estación agrometeorológica “Tomalón-Tabacundo” (MA2T INAMHI), usando datos mensuales de los 16 años de registros disponibles (1990-2006), que es el tiempo de funcionamiento de la estación.

Se han tomado las coordenadas geográficas UTM, para la efectiva ubicación del lugar del proyecto en el mapa, y elegir la estación meteorológica más cercana con datos disponibles. Se deduce que el proyecto se encuentra más cercano a la estación pluviométrica Cayambe (M356 INAMHI), con una distancia lineal aproximada de 4.6 km. Por otro lado la estación “Tomalón-Tabacundo” se encuentra aproximadamente a 14.5 km lineales, y ésta, es una estación agrometeorológica que cuenta con registros meteorológicos más completos. Para los objetivos del proyecto, se usan los registros de la estación “Tomalón Tabacundo”, ya que la estación Cayambe cuenta con datos incompletos, deficientes y hace algunos años atrás, es una estación fuera de funcionamiento.

Para desarrollar el análisis de ocurrencia de precipitación, con los valores mensuales de todos los años históricos de registros, se calcula un valor medio representativo de cada mes, junto con su desviación estándar, para delimitar un rango de variación. Los valores medios obtenidos serán la referencia del volumen de agua con el que se puede contar como aporte natural, y con los cuales se puede planificar una propuesta para construcción de estructuras de cultivo y riego tradicional, que logren la retención y conducción del agua de lluvia para satisfacer las necesidades de los cultivos. Así también permite apreciar los meses de escasas de lluvia, en los cuales sería necesaria la aplicación de agua desde una fuente externa.

En la Tabla 4.1, se presentan los valores de precipitación mensual de todos los años con registros en la estación “Tomalón-Tabacundo” (periodo 1990 – 2006), y la obtención de los valores promedio mensuales y la desviación estándar.

TABLA 4.1: PRECIPITACIÓN MENSUAL DE AÑOS CON REGISTROS (mm/mes)

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	SUMA
1990	SD	SD	36.4	58.2	32.1	19.4	9.4	4.4	10.9	134.7	25.9	27.4	
1991	99.4	15.5	111.3	56.6	88.3	14.3	18.0	10.4	46.0	38.3	82.7	72.4	653.2
1992	27.7	69.7	46.5	86.5	51.7	14.6	5.7	6.7	39.4	44.3	41.5	23.7	458.0
1993	35.3	102.8	108.6	81.5	59.8	6.9	8.7	0.2	29.0	14.2	93.5	SD	
1994	98.6	53.4	112.4	196.6	43.8	2.4	9.5	9.8	17.7	55.6	129.0	55.1	783.9
1995	18.8	27.3	85.4	62.2	49.4	24.5	30.0	41.8	11.7	76.7	153.1	57.3	638.2
1996	90.2	74.0	101.0	85.5	123.5	71.7	4.3	19.4	19.3	89.7	22.0	58.3	758.9
1997	116.5	31.6	106.4	70.4	35.1	27.8	0.0	0.3	52.3	36.7	88.3	46.6	612.0
1998	20.9	68.1	79.6	73.0	85.1	14.7	26.8	4.9	22.1	55.7	61.8	35.4	548.1
1999	76.4	116.9	68.1	84.0	56.5	34.3	8.9	9.6	79.6	55.3	32.8	102.1	724.5
2000	78.5	99.0	72.0	93.7	167.1	61.5	6.2	4.2	99.4	35.5	32.4	34.8	784.3
2001	50.1	37.8	59.0	43.4	33.6	13.0	25.1	0.0	36.0	28.8	45.3	37.4	409.5
2002	23.9	33.1	26.7	109.2	32.9	41.3	1.4	6.3	9.9	114.3	80.7	98.4	578.1
2003	38.8	54.3	32.5	75.7	14.4	35.3	24.6	0.0	20.5	83.7	63.4	38.7	481.9
2004	38.6	20.5	16.3	84.3	63.6	1.5	4.5	0.6	50.3	48.0	54.4	106.5	489.1
2005	38.3	63.2	68.2	54.8	30.2	21.8	7.6	6.6	40.3	45.1	33.6	169.1	578.8
2006	41.2	83.4	108.6	88.2	38.5	62.3	3.5	4.9	4.6	72.7	134.2	27.4	669.5
Prom	55.8	59.4	72.9	82.6	59.2	27.5	11.4	7.7	34.6	60.5	69.1	66.0	
Desv. Est.	32.1	30.8	32.5	33.7	38.4	21.2	9.6	10.1	25.6	31.4	40.2	39.6	

SD: Sin datos de precipitación mensual

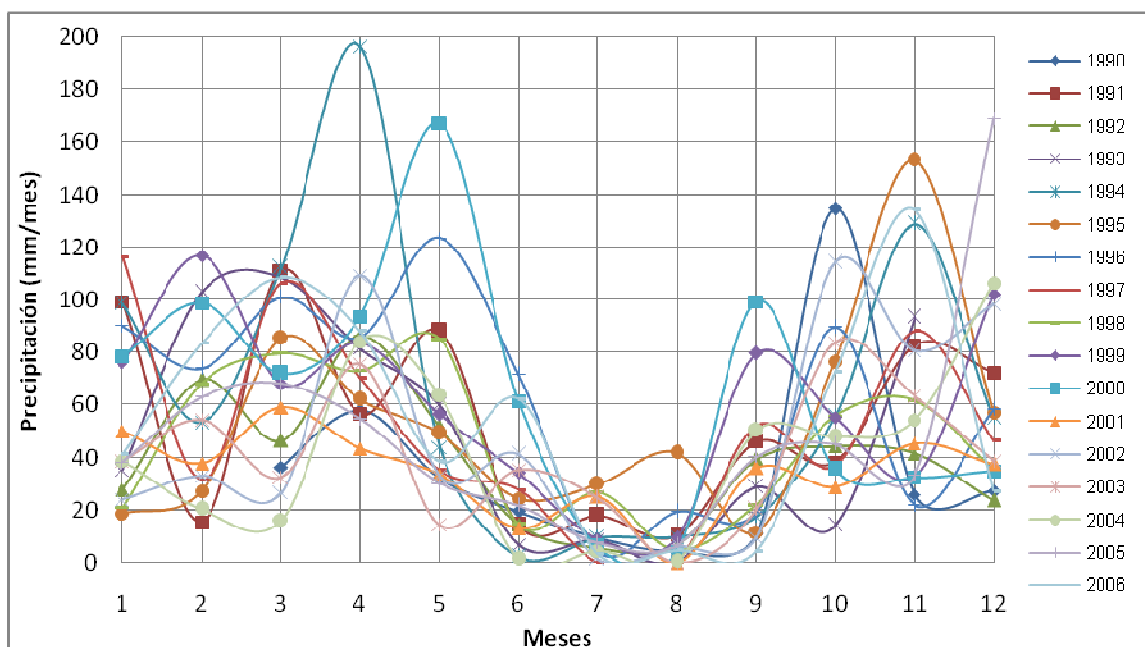
FUENTE: Anuarios Meteorológicos INAMHI. Estación "Tomalón-Tabacundo" (1990-2006)

Los datos obtenidos representan la ocurrencia de lluvia mensual de cada año. De los datos mostrados en la Tabla 4.1, se determina que los periodos con importantes precipitaciones, son desde enero hasta mayo, seguidos los meses secos desde junio hasta septiembre, en el mes de octubre, regresa el segundo periodo de precipitaciones que se mantiene hasta diciembre. El mes con la máxima precipitación histórica es abril y el más seco es agosto.

Los valores de desviación estándar, representan la variación de los registros individuales, con referencia a la media multianual de cada mes. De esto se puede deducir, que las precipitaciones de un año a otro tienen una variación notable, por lo que resulta adecuado y práctico trabajar con el valor promedio de cada mes para evitar errores de estimación.

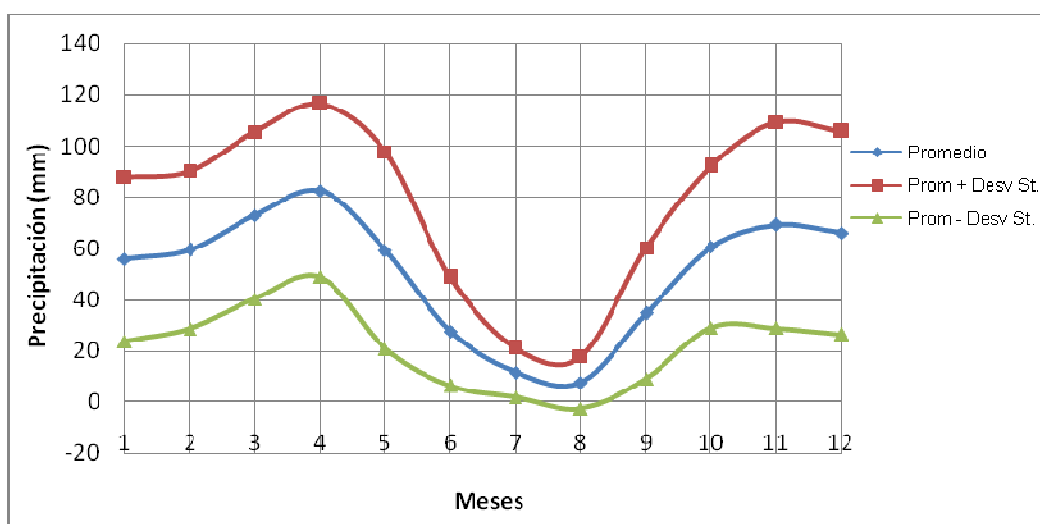
En los Gráficos 4.1 y 4.2, se puede apreciar las precipitaciones de todos los años y la precipitación promedio de todos los registros.

GRÁFICO 4.1: PRECIPITACIÓN MENSUAL DE TODOS LOS AÑOS DE REGISTROS



FUENTE: Anuarios Meteorológicos INMAHI. Estación "Tomalón-Tabacundo" 1990-2006

GRAFICO 4.2: PRECIPITACIÓN MENSUAL PROMEDIO



FUENTE: Anuarios Meteorológicos INAMHI. Estación "Tomalón-Tabacundo" 1990-2006

4.2.3 ESTIMACIÓN DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL (Es) DEBIDO A PRÁCTICAS DE CULTIVO COMUNES DE LA COMUNIDAD.

Para estimar la escorrentía que ocurre en eventos de precipitaciones, se usa el método del Servicios de Conservación de Suelos de Estados Unidos (SCS), el cual permite calcular la escorrentía superficial a partir de los valores medios de lluvia y la retención máxima de agua en el suelo, que se estima indirectamente por un número de curva (CN), tal que $0 \leq CN \leq 100$. Es un tipo de representación del escurrimiento que ocurre sobre un suelo, en función de su tipología, condiciones hídricas y su manejo.

$$Es = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (4.6)$$

Donde:

- Es: Escurrimiento promedio mensual (mm)
- P: Precipitación promedio mensual (mm)
- S: Retención máxima potencial del agua en el suelo (mm)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4.7)$$

Donde:

- S: Potencial máximo de retención de agua en el suelo (mm)
- CN: Valor del número de curva para el suelo (adimensional)

Se han definido los valores de CN, para la clase de suelos C, que son los identificados en la zona del proyecto.

Grupo de suelos: C

Características: Suelos con un considerable potencial de escurrimiento. Comprende suelos someros y suelos con considerable contenido de arcilla. Tienen una

infiltración menor que la promedio después de la saturación; son un ejemplo los suelos de migajones arcillosos, con una infiltración básica de 1 a 4 mm/h.

Identificación de las prácticas agrícolas comunes de la zona: Actualmente en la comunidad, se siembra usando prácticas y procedimientos convencionales y comunes, entre los cuales diferenciamos:

- **Siembra en surcos rectos en pendiente:** Práctica en la cual, los surcos de siembra se disponen en filas largas y en dirección de la pendiente, con este método de siembra, se pueden esperar las mayores pérdidas de agua de lluvia por escorrentía.
- **Siembra en contornos:** En este tipo de prácticas, se siembra en surcos, pero dispuestos en dirección de las curvas de nivel del terreno, con este tipo de siembra, la escorrentía es menor, ya que los surcos actúan como diques, que retienen parte del agua que se perdería por escorrentía.
- **Surcos en contorno y terrazas:** Este tipo de práctica, usa la misma disposición de los surcos que la práctica anterior, con la característica adicional, que en la formación de los surcos para la siembra, se suaviza la pendiente, formando terrazas a manera de pequeñas gradas, sobre las cuales se acumula la tierra para formar los surcos, este tipo de práctica es la que genera la menor escorrentía y las mayores retenciones de agua en comparación con las prácticas anteriores.

Las prácticas mencionadas, tienen mucha relación con los sistemas de cultivo y riego tradicional que se proponen en este proyecto, con la diferencia que las estructuras de riego tradicionales, se diseñarán con el objetivo de acumular toda el agua en canales, canaletas o reservorios para minimizar al máximo la ocurrencia de escorrentía.

En el Cuadro 4.2, se presentan los valores de CN, para suelos con buena condición hidrológica por cobertura vegetal >75%.

CUADRO 4.2: VALORES DE CN Y DE POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA (S) PARA PRÁCTICAS AGRICOLA COMUNES

Prácticas agrícolas comunes	Sistema tradicional aplicable	CN suelos grupo C	S (mm)
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	Camellones en pendientes bajas	88	34,64
Siembra en contornos	Albarradas	82	55,76
Siembra en contorno y terraza	Terrazas	78	71,64

FUENTE: Publicación Hidrología Avanzada. Ing. Marina Farías, 2007

En la Tabla 4.2, se presenta los valores calculados de escorrentía que ocurriría con el uso de prácticas de cultivo comunes de la comunidad.

TABLA 4.2: VALORES DE ESCORRENTÍA OCASIONADA POR EL USO DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS COMUNES

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/mes)	Prom	55,80	59,40	72,90	82,60	59,20	27,50	11,40	7,70	34,60	60,50	69,10	66,00
Práctica agrícola	S (mm)	Escorrentía superficial Es (mm/día)											
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	34,64	28,60	31,61	43,26	51,91	31,44	7,67	0,51	0,02	12,29	32,54	39,93	37,24
Siembra en contornos	55,76	19,85	22,38	32,45	40,13	22,24	3,71	0,00	0,23	6,94	23,17	29,53	27,20
Siembra en contornos y terraza	71,64	15,21	17,41	26,35	33,31	17,28	2,05	0,12	0,68	4,47	18,10	23,73	21,65

.FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

4.2.4 PRECIPITACIÓN EFECTIVA (Pef) CON PRÁCTICAS DE CULTIVO COMUNES QUE USA LA COMUNIDAD.

La lluvia efectiva (Pef), resulta de la diferencia entre la precipitación promedio mensual y la escorrentía que ésta lluvia puede generar, en las parcelas que se aplica prácticas convencionales de siembra, como los surcos en dirección de la pendiente, surcos en curvas de nivel y surcos en pequeñas terrazas, todos estos, son sistemas que no tienen un control realmente efectivo para retener la escorrentía. Los valores

obtenidos de precipitación efectiva, representarían el volumen de agua disponible para la satisfacción de las necesidades del cultivo, definidas por la evapotranspiración del cultivo (ETc).

Los valores de precipitación efectiva para el balance hídrico en el suelo, representaría el volumen de agua que se almacena en las depresiones del suelo y no se pierde por escorrentía. El volumen de precipitación efectiva, será el disponible para la infiltración y almacenamiento en el suelo.

$$\text{Relación de cálculo utilizada: } P_{ef} = P - E_s$$

En la Tabla 4.3, se presentan los valores estimados de precipitación efectiva, con la que contarían los cultivos, si se utilizan las actuales prácticas comunes de cultivo.

TABLA 4.3: VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA USANDO PRÁCTICAS COMUNES DE CULTIVO

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm/mes)	55,80	59,40	72,90	82,60	59,20	27,50	11,40	7,70	34,60	60,50	69,10	66,00
Práctica agrícola	Precipitación efectiva Pef (mm/mes)											
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	27,20	27,79	29,64	30,69	27,76	19,83	10,89	7,68	22,31	27,96	29,17	28,76
Siembra en contornos	35,95	37,02	40,45	42,47	36,96	23,79	11,40	7,47	27,66	37,33	39,57	38,80
Siembra en contornos y terraza	40,59	41,99	46,55	49,29	41,92	25,45	11,28	7,02	30,13	42,40	45,37	44,35

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Con la aplicación de prácticas de cultivo y riego tradicional del tipo camellones y terrazas, se pretende reducir al mínimo posible los escurrimientos de agua, capturándolos en canales y canaletas, para hacer que la precipitación efectiva sea toda la precipitación de aporte natural de la zona de la comunidad Santa Rosa de Ayora.

$$P_{ef} = P$$

4.2.5 ESTIMACIÓN APROXIMADA DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO (Alm).

El suelo sobre el que se cultiva, tiene la capacidad de almacenar agua en su estructura; el suelo es un reservorio natural que alberga el agua que ha estado en contacto directo con él. Para estimar valores mensuales aproximados del agua que puede retener, se usan los valores de porcentaje del volumen de agua disponible, en función de la tensión con la que es retenida. Se asocia la tensión del suelo, acorde a la disponibilidad de lluvia de cada mes. Con el uso de las estructuras de riego tradicional, se pueden lograr las condiciones en las que el suelo tenga contacto con la mayor cantidad de agua de aporte natural y la puedan almacenar, para mantenerla disponible para los cultivos, si el aporte natural o artificial de agua se paraliza por un tiempo prolongado.

En la práctica, un suelo que se encuentra a capacidad de campo en los meses de altas precipitaciones (tensión de humedad del suelo de 0.2 a 0.3 atm), y en los meses con reducidas precipitaciones se puede llegar al punto de marchitamiento (tensión de humedad del suelo de 16 atm).

Se debe considerar el efecto de almacenamiento de agua en el suelo, para eventos donde la precipitación ha cesado y el suelo alcanza su capacidad de campo, situación en la cual, los cultivos utilizan el agua almacenada en el suelo. Para determinar los meses de uso del agua almacenada en el suelo, se aplican los datos de días con precipitaciones, de los cuales se deduce los días sin precipitaciones, para obtener el factor de tiempo de cada mes, en el que el agua almacenada en el suelo pueda ser usada por los cultivos.

Para el suelo de la zona de proyecto, clasificado como de textura franco arcillo-arenoso, se tienen valores de volumen de agua disponible, acorde a la tensión de humedad de éste tipo de suelo.

En el Cuadro 4.3, se estima el porcentaje del volumen de agua disponible en el suelo, acorde a la tensión de humedad que presentaría el suelo, que es función del volumen de lluvia que se puedan presentar.

CUADRO 4.3: VOLUMEN DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO

	Volumen de llluvias			Época seca
	Alta	Media	Baja	
Tensión de humedad del suelo (atm)	0.2	0.5	2.5	16
Volumen de agua disponible (%)	14	11	6	0

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos, Roma 1990

Con los valores referenciales, resultantes de la tabla, se calcula el almacenamiento de agua en el suelo, acorde al régimen de precipitaciones de la zona del proyecto. La relación que determina el almacenamiento de agua en el suelo, es la siguiente:

$$\text{Alm} = \frac{H}{100} * Z \quad (4.8)$$

Donde:

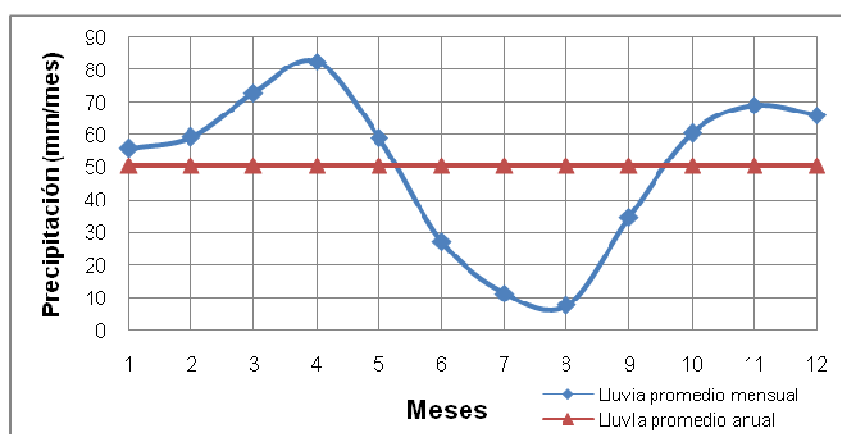
- H: Volumen de agua disponible (%)
- Z: Profundidad del suelo cultivable hasta la cual las raíces pueden crecer.

Usando el Gráfico 4.3, se estima que las lluvias sobre el valor de precipitación promedio anual, son eventos de alto volumen, los cercanos al valor medio son de volumen medio y los que están bajo el promedio anual son lluvias de bajo volumen.

Además se determinó por medición en los perfiles y cortes de la zona, que el espesor aproximado del suelo de cultivo en las parcelas de la comunidad, es de alrededor de 40 cm, profundidad hasta la que podrían llegar las raíces de los cultivos, ya que en la capa más profunda, se encuentra cangahua del tipo compacta, que frenaría el crecimiento radicular.

En la Tabla 4.4, se estiman los valores de almacenamiento de agua en el suelo, usando las precipitaciones promedio mensuales, que además sirven para estimar el porcentaje de agua disponible en el suelo, acorde a la tensión de humedad.

GRAFICO 4.3: PRECIPITACION MENSUAL PROMEDIO Y PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL



FUENTE: Anuarios Meteorológicos INAMHI 1990-2006

TABLA 4.4: VALORES ESTIMADOS DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Prom (mm)	55.83	59.41	72.88	82.58	59.15	27.49	11.42	7.65	34.65	60.55	69.09	66.04
Cantidad de lluvia	Media	Media	Alta	Alta	Media	Baja	Época seca	Época seca	Baja	Media	Alta	Alta
Alm (mm)	44	44	56	56	44	24	0	0	24	44	56	56

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Obteniendo el número de días sin precipitaciones, se deduce la fracción de días por mes, en los cuales los cultivos podrían hacer uso del agua almacenada en el suelo, acorde a la tensión de humedad con la que la retiene.

En la Tabla 4.5, se presentan las fracciones de tiempo de cada mes, que no presentan precipitaciones. En la Tabla 4.6, se calcula el almacenamiento de agua en el suelo, aprovechable para los cultivos, estimada con la fracción del tiempo sin precipitaciones de cada mes.

TABLA 4.5: FRACCIÓNES DE TIEMPO SIN PRECIPITACIONES

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
NºDías/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Promedio	19.3	16.1	14.6	13.0	15.1	21.6	26.2	27.0	21.8	19.1	16.9	18.4
Fracción	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6

FUENTE: Anuarios Meteorológicos INAMHI 1990-2006

TABLA 4.6: ALMACENAMIENTO DE AGUA APROVECHABLE DEL SUELO

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Alm (mm)	44	44	56	56	44	24	0.0	0.0	24	44	56	56
Fracción	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6
Alm ajust (mm)	27.4	25.3	26.4	24.3	21.4	17.3	0.0	0.0	17.5	27.2	31.5	33.3

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Con prácticas de siembra directa, manteniendo un tipo cobertura superficial y labranza mínima en los camellones y terrazas, se puede lograr en el corto plazo, un mejoramiento de la estructura de los primeros centímetros del suelo en los montículos de siembra con lo que se puede potenciar el máximo almacenamiento de agua en el suelo.

Los suelos con alta capacidad de agua disponible, permitirán un periodo de crecimiento más extenso, en razón de la posibilidad de proporcionar mayores cantidades del agua almacenada, en el inicio de los periodos secos.

4.2.6 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA DE LOS CULTIVOS, POR MEDIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET_c).

La estimación del valor de evapotranspiración, que representaría las más considerables pérdidas de agua que se transfiere a la atmósfera, por las funciones propias de las plantas y por las condiciones climáticas de la zona. El consumo mayor del agua, no es en la formación de los tejidos vegetales; sino en el proceso de transpiración. Se estima que en la mayoría de los cultivos, el agua evapotranspirada durante su desarrollo representa más del 95% de su consumo.

Para la estimación de valores de evapotranspiración, se utilizan los métodos de Blaney Criddle, de la Radiación y de Penman modificado. Los valores obtenidos con los diferentes métodos serán comparados para la elección de los mejores resultados, los que posteriormente, serán utilizados para obtener los valores de evapotranspiración por tipo de cultivo y su etapa de desarrollo, usando los correspondientes valores de coeficiente de cultivo K_c . Se utilizan los registros de la estación agrometeorológica "Tomalón-Tabacundo" MA2T, que dispone los datos suficientes para las ecuaciones de estimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia E_{To} .

La estación MA2T, resulta ser más representativa para la zona del proyecto, ya que desde los límites oeste de la comunidad Santa Rosa de Ayora, se puede apreciar la zona de Tabacundo, sin obstáculos topográficos mayores, donde se ubica la estación mencionada. Se ubica además, que la estación climatológica ordinaria Olmedo-Pichincha M023, se encuentra a una distancia lineal de aproximadamente 10,1 kilómetros, siendo por tanto la estación climática más cercana, pero con graves problemas de registros faltantes y deficientes.

ESTIMACIÓN DE LA E_{To} CON EL MÉTODO BLANEY CRIDDLE.

Se estima los valores de E_{To} , usando el método Blaney Criddle, considerado el más simple y rápido para obtener valores referenciales de E_{To} .

Se utiliza la ecuación (2.1): $f = p/100(45,72T + 812,8)$

Valores de porcentaje de horas diurnas (p)

Los valores de p mensuales en el año, depende de la latitud y del mes, los valores considerados se los presenta en la Tabla 4.7.

TABLA 4.7: PORCENTAJE DE HORAS DIURNAS PARA LA LATITUD 0° ECUADOR

Latitud 0°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
p (%)	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50

FUENTE: Hidrología en la Ingeniería. (Monsalve Germán), 1995

Valores de temperatura media mensual (T).

Estos valores se los obtiene de los registros históricos de la estación agrometeorológica Tomalón-Tabacundo MA2T. Los valores se presentan en la Tabla 1 del Anexo N° 3.

Valores Calculados de ETo.

Los valores de f obtenidos con la ecuación 2.1, representan la evapotranspiración de referencia ETo mensuales en mm, que representaría el mismo valor durante todo el mes.

En la Tabla 4.8, se presentan los valores estimados de ETo en mm/mes y en mm/día, por cada año de registros para no obtener un resultado en base al promedio de varios años, dando lugar a que se oculten los valores máximos y mínimos estimados con el método.

TABLA 4.8: VALORES DE ETo (mm/mes) ESTIMADOS CON EL MÉTODO BLANEY CRIDDLE

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	128.78	122.28	126.99	123.56	127.38	129.56	127.16	125.05	124.69	128.16
1991	127.77	116.89	128.40	122.66	128.94	124.31	127.77	127.23	124.16	128.94	121.68	128.16
1992	130.10	115.84	130.34	124.91	126.60	128.07	127.38	128.01	121.91	127.77	122.81	128.16
1993	124.66	111.64	123.35	121.16	126.22	128.07	128.55	129.56	123.04	130.49	122.43	SD
1994	125.05	112.34	123.74	121.16	127.38	124.69	128.94	128.78	125.29	127.38	119.80	127.38
1995	128.94	115.49	127.23	124.91	126.99	125.06	127.38	128.40	126.04	127.77	120.18	123.49
1996	122.33	110.94	123.74	120.41	124.27	121.31	126.22	128.01	126.41	124.27	122.06	126.60
1997	123.11	113.74	128.40	122.28	129.32	122.43	130.49	132.67	126.79	130.88	122.43	131.27
1998	134.76	119.00	130.34	124.91	130.49	123.94	126.22	128.01	124.16	128.16	122.06	126.60

TABLA 4.8: CONTINUACIÓN

1999	124.27	109.54	123.74	120.78	123.88	118.3	126.99	126.84	118.16	124.66	121.31	121.94
2000	121.55	109.54	121.41	119.28	122.33	119.8	125.05	126.84	118.53	129.71	121.68	125.44
2001	122.72	114.09	124.51	122.66	126.99	123.56	127.77	131.5	121.53	132.43	122.81	128.55
2002	129.71	114.79	127.23	120.78	130.1	123.18	129.71	129.56	125.66	128.55	121.68	126.6
2003	127.77	116.19	124.9	122.66	126.6	120.55	127.77	129.95	123.04	125.44	121.68	125.44
2004	125.83	112.34	130.34	122.28	126.99	123.94	125.05	131.11	122.66	126.99	123.94	125.83
2005	126.22	114.79	124.9	122.66	127.38	123.56	129.32	131.11	125.66	126.6	123.56	122.72
Prom	126.32	113.81	126.17	122.23	126.97	123.39	127.64	129.17	123.54	128	122.01	126.3
Desv. St	3.58	2.74	2.89	1.65	2.18	2.61	1.55	1.74	2.74	2.33	1.26	2.43

SD: Meses sin datos de temperatura media

FUENTE: Anuarios meteorológicos INAMHI 1990-2005

Determinando el número de días típicos de cada mes, se presenta en la Tabla 4.9, los valores aproximados de ETo en mm/día para cada mes de cada año con registros.

TABLA 4.9: VALORES DE ETo (mm/día) ESTIMADOS CON EL MÉTODO BLANEY CRIDDLE

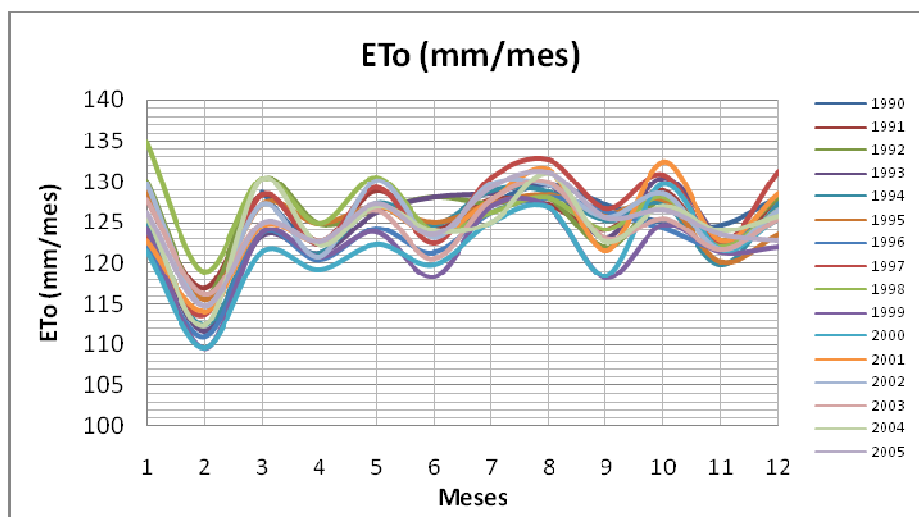
Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
# días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1990	SD	SD	4.154	4.076	4.097	4.119	4.109	4.179	4.239	4.034	4.156	4.134
1991	4.122	4.175	4.142	4.089	4.159	4.144	4.122	4.104	4.139	4.159	4.056	4.134
1992	4.197	4.137	4.204	4.164	4.084	4.269	4.109	4.129	4.064	4.122	4.094	4.134
1993	4.021	3.987	3.979	4.039	4.071	4.269	4.147	4.179	4.101	4.209	4.081	SD
1994	4.034	4.012	3.992	4.039	4.109	4.156	4.159	4.154	4.176	4.109	3.993	4.109
1995	4.159	4.125	4.104	4.164	4.097	4.169	4.109	4.142	4.201	4.122	4.006	3.984
1996	3.946	3.962	3.992	4.014	4.009	4.044	4.071	4.129	4.214	4.009	4.069	4.084
1997	3.971	4.062	4.142	4.076	4.172	4.081	4.209	4.280	4.226	4.222	4.081	4.234
1998	4.347	4.250	4.204	4.164	4.209	4.131	4.071	4.129	4.139	4.134	4.069	4.084
1999	4.009	3.912	3.992	4.026	3.996	3.943	4.097	4.092	3.939	4.021	4.044	3.934
2000	3.921	3.912	3.916	3.976	3.946	3.993	4.034	4.092	3.951	4.184	4.056	4.046
2001	3.959	4.075	4.017	4.089	4.097	4.119	4.122	4.242	4.051	4.272	4.094	4.147
2002	4.184	4.100	4.104	4.026	4.197	4.106	4.184	4.179	4.189	4.147	4.056	4.084
2003	4.122	4.150	4.029	4.089	4.084	4.018	4.122	4.192	4.101	4.046	4.056	4.046
2004	4.059	4.012	4.204	4.076	4.097	4.131	4.034	4.229	4.089	4.097	4.131	4.059
2005	4.071	4.100	4.029	4.089	4.109	4.119	4.172	4.229	4.189	4.084	4.119	3.959
Prom	4.075	4.065	4.075	4.075	4.096	4.113	4.117	4.168	4.125	4.123	4.072	4.078
Desv. St.	0.115	0.098	0.093	0.055	0.070	0.087	0.050	0.056	0.091	0.075	0.042	0.078

SD: Meses sin datos de temperatura media

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

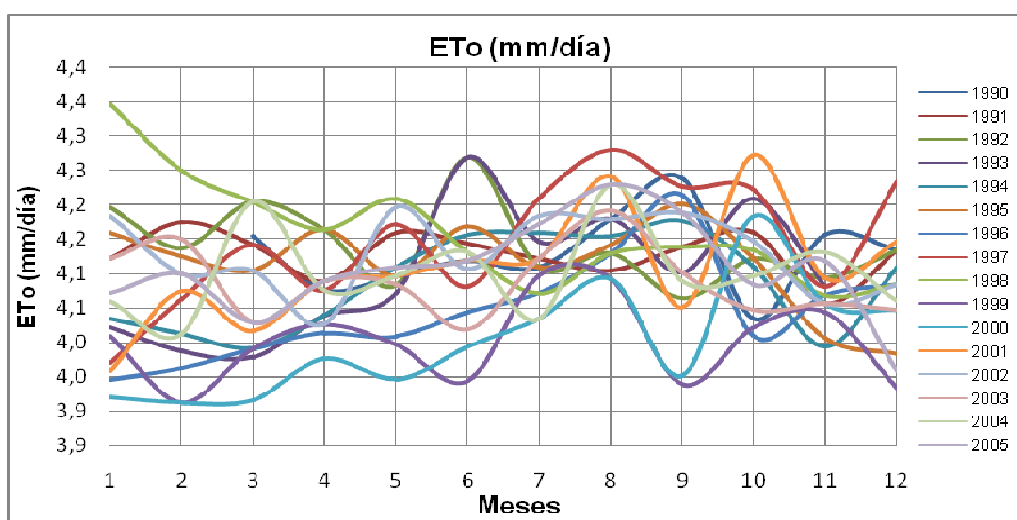
En el Gráfico 4.3 y Gráfico 4.4, se presenta los valores de ETo en mm/mes y en mm/día respectivamente, para apreciar las tendencias de los valores de cada año con registros.

GRÁFICO 4.3: VALORES ESTIMADOS DE ETo (mm/mes)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

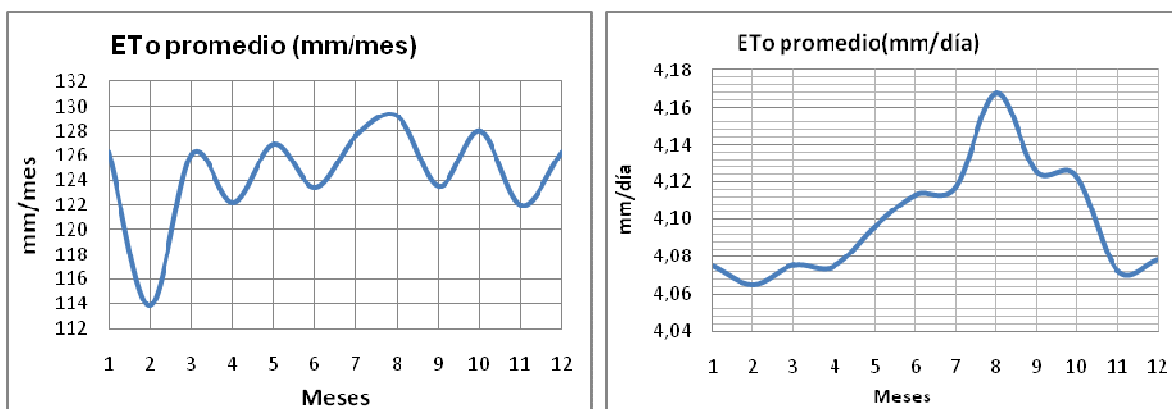
GRÁFICO 4.4: VALORES ESTIMADOS DE ETo (mm/día)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En el Gráfico 4.5, se puede apreciar las tendencias de los valores promedio mensuales y diarios.

GRÁFICOS 4.5: VALORES PROMEDIO DE ETo (mm/mes) y (mm/día)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Para una predicción más ajustada de los valores obtenidos con el método, se pueden usar las curvas que ajustan los valores de ETo en función de la humedad relativa y la velocidad del viento.

Las curvas para predicción gráfica de la ETo, se presentan en el Gráfico N° 1 del Anexo N° 1.

Los resultados del método:

- Es predominante la incidencia e influencia directa de la temperatura para la estimación de los valores de ETo en la fórmula Blaney Criddle, notándose que la temperatura es el único valor que considera el método para representar las condiciones específicas de la zona.
- Los valores de porcentaje de horas diurnas en el mes, tienen poca variación en cada mes del año, para la latitud cero en la que se ubica la zona del proyecto, por lo que no resulta ser una variable de especificidad para la zona del

proyecto, es más bien un valor de representatividad macro de un sector muy amplio.

- Por lo tanto la estimación de ETo es determinada predominantemente por la temperatura, notándose la limitada representatividad y aproximación a las condiciones reales que tiene el método Blaney Criddle, ya que la variable temperatura por si sola, no es capaz de representar y reflejar las verdaderas condiciones frente a las que se desarrolla el fenómeno de la evapotranspiración.

ESTIMACIÓN DE LA ETo CON EL MÉTODO DE LA RADIACIÓN.

Este método considera para la estimación, los valores del periodo de insolación y radiación solar, que junto con el índice de ponderación W, se estima gráficamente los valores de ETo utilizando las curvas definidas para determinados rangos de humedad relativa y velocidad de viento de la zona.

Las ecuaciones útiles son:

$$(2.2) \quad ETo = a + b \cdot Rs \cdot W$$

$$(2.3) \quad Rs = (0.25 + 0.50 \cdot n/N) \cdot Ra$$

En la Tabla 4.10, se presenta los valores de radiación solar en equivalentes de evaporación en mm para cada mes del año, determinados para la latitud 0° de ubicación del Ecuador.

TABLA 4.10: RADIACION SOLAR (Ra) PARA LATITUD 0°

Hemisferio Norte, Latitud 0°

Latitud 0°	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Ra (mm)	15	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

Calculo de las relaciones (n/N).

Para el cálculo de las horas reales de insolación (n), se usan los valores de registro de heliofanía, que representa el tiempo de duración del brillo solar expresado en horas. Para determinar las horas teóricas máximas de permanencia del sol sobre el horizonte se consideran que $N = 12,1$ horas, para la latitud 0° del hemisferio norte del Ecuador.

En la Tabla 2, del Anexo N° 3, se presentan los valores de heliofanía mensual de todos los años con registros de la estación “Tomalón-Tabacundo”, que representan el número de horas reales de duración del brillo solar en horas/mes.

En la Tabla 4.11, se presenta el numero de días de cada mes, que se utilizan para determinar el número de horas reales de insolación (n) diaria por mes.

TABLA 4.11: NUMERO DE DIAS DE CADA MES

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
# Días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

FUENTE: Calendarios anuales

En la Tabla 3, del ANEXO N° 3, se presentan los valores de las horas reales diarias de máxima insolación, en horas/día.

En la Tabla 4, del ANEXO N° 3, se presentan los valores de n/N .

Valores de radiación solar (Rs).

Con la relación n/N se calcula la relación: $0.25 + 0.50 \cdot n/N$, con la que se logra obtener el cálculo de la radiación solar, $R_s = (0.25 + 0.50 \cdot n/N) \cdot R_a$ en mm/día por cada mes de cada año, usando los registros climáticos de heliofanía.

En la Tabla 5, del ANEXO N° 3, se presentan los valores de radiación solar calculados en equivalente de evaporación (mm/día).

Índice de ponderación (W).

Se calculan los valores de W determinando la ecuación de la curva de mejor ajuste a los datos de la relación $W = f(T)$ de la tabla siguiente. En la Tabla 4.12, se presentan los valores de factor de ponderación en función de la temperatura, para una la altura de referencia de 3000 msnm, que resulta adecuado, ya que es aproximadamente la altura promedio de la zona del proyecto.

TABLA 4.12: INDICE DE PONDERACION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

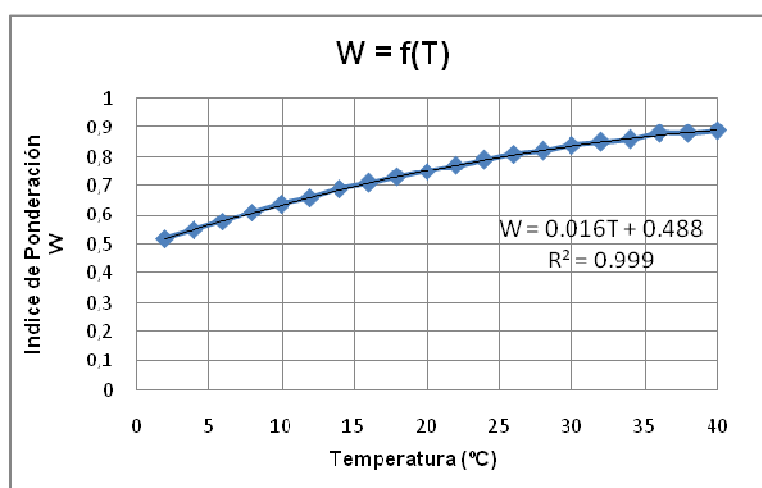
Altura: 3000 msnm

Temperatura (°C)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
W	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75
Temperatura (°C)	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
W	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.88	0.88	0.89

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

En el Gráfico 4.6, se representan los datos de índice de ponderación en función de la temperatura, para determinar la ecuación de la recta con mejor ajuste para calcular valores de ponderación para cualquier temperatura.

GRÁFICO 4.6: ÍNDICE DE PONDERACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA



Fuente: Elaborado por Bolívar Erazo

Del Gráfico 4.6, se obtiene la ecuación de la recta con mejor ajuste a los valores de la Tabla 4.12, obteniéndose la ecuación $W = 0.016 \cdot T + 0.489$. Con ésta, se puede calcular W , para los valores de temperatura media mensual de los registros de la estación Tomalón – Tabacundo. En la Tabla 6, del ANEXO N° 3, se presentan los valores de W calculados con la ecuación obtenida.

A continuación, se calcula los valores de $R_s \cdot W$ con los que se puede estimar gráficamente los valores de E_{To} (mm/día). Para este fin, se han obtenido las ecuaciones de las curvas de la relación $E_{To} = f(R_s \cdot W)$, del Gráfico N° 2, del Anexo N° 1, para los diferentes valores de Humedad relativa media (HR_{media}) y la velocidad del viento (U).

En la Tabla 7, del ANEXO N° 3, se presentan los valores de $R_s \cdot W$.

La humedad relativa media HR_{media} para la zona del proyecto, sobre la base de los registros de la estación agrometeorológica Tomalón - Tabacundo resulta ser $> 70\%$; por lo que las curvas del Grafico IV, del Gráfico N° 2, del ANEXO N° 1, son las de utilidad.

Para identificar la velocidad promedio de los vientos de la zona, se obtienen los valores promedios anuales de velocidad del viento, para determinar cual de las curvas del Gráfico IV mencionado, se deberían usar en cada caso.

En la Tabla 8, del Anexo N° 3, se presentan los valores de velocidad media mensual del viento, obtenidas de los registros de la estación Tomalón-Tabacundo de la cual se obtienen las velocidades promedio.

En la tabla 4.13, se presenta las velocidades promedio anual del viento de la zona del proyecto, valores con los que se puede elegir adecuadamente la curva de cálculo del Gráfico IV, del Gráfico N° 2, del Anexo N° 1, para estimar la E_{To} .

TABLA 4.13: VELOCIDAD PROMEDIO ANUAL DEL VIENTO EN LA ZONA DE ESTUDIO (1990-2005)

Año	Velocidad promedio		Curva de calculo
	km/h	m/s	
1990	11.1	3.08	2
1991	9.1	2.53	2
1992	9.6	2.66	2
1993	8.6	2.39	2
1994	7.6	2.12	2
1995	5.1	1.41	1
1996	4.1	1.14	1
1997	5.6	1.54	1
1998	4.3	1.21	1
1999	3.5	0.97	1
2000	4.2	1.16	1
2001	6.5	1.81	1
2002	7.5	2.08	2
2003	6.4	1.79	1
2004	7.5	2.07	2
2005	6.7	1.87	1

FUENTE: Anuarios meteorológicos INAMHI. Estación Tomalón-Tabacundo 1990-2005

Se definen las ecuaciones de las curvas del Grafico IV, del Gráfico N° 2, del ANEXO N° 1, digitalizando las curvas para determinar sus ecuaciones:

Curva 1: $ETo = -0.463 + 0.828 \cdot Rs \cdot W$

Curva 2: $ETo = -0.439 + 0.886 \cdot Rs \cdot W$

Curva 3: $ETo = -0.428 + 0.94 \cdot Rs \cdot W$

Curva 4: $ETo = -0.378 + 0.98 \cdot Rs \cdot W$

Con las ecuaciones anteriores, se pueden calcular los valores de ETo en mm/día para cada mes, de los años que cuentan con registros climáticos.

En la Tabla 4.14, se estiman los valores mensuales de ETo para los años con registros de acuerdo a las ecuaciones de la Curva 1 y Curva 2.

TABLA 4.14: VALORES DE ETo (mm/día) ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE LA RADIACIÓN

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Curva
1990	SD	SD	SD	3.89	3.49	4.13	4.85	5.64	5.19	4.20	4.71	4.58	2
1991	4.78	5.05	4.17	4.34	4.10	4.52	4.39	4.91	4.72	4.58	4.05	4.72	2
1992	4.99	4.94	4.25	3.95	3.55	4.67	4.88	5.13	4.35	4.52	4.71	4.56	2
1993	4.33	4.34	3.66	4.12	3.92	5.14	4.86	5.36	4.61	4.81	4.21	SD	2
1994	4.27	4.13	3.64	4.01	3.87	4.54	5.10	4.89	5.29	4.74	4.04	4.13	2
1995	4.32	4.65	3.95	3.97	3.73	3.93	4.07	4.61	4.71	4.32	3.61	3.91	1
1996	3.31	3.32	3.46	3.76	3.69	3.51	4.36	4.65	4.94	3.86	4.58	4.36	1
1997	3.93	3.75	4.27	4.09	3.91	3.64	5.12	5.29	4.64	4.20	3.40	3.59	1
1998	4.40	4.00	3.75	3.71	3.58	3.66	3.90	4.22	4.07	4.06	4.11	4.32	1
1999	3.29	3.11	3.68	3.61	3.48	3.05	4.42	4.53	3.28	3.89	4.07	3.18	1
2000	3.64	3.82	3.36	3.52	3.06	3.54	4.14	4.40	3.79	4.75	4.13	4.06	1
2001	3.67	4.58	3.42	3.83	3.24	4.27	4.41	5.35	3.93	5.28	3.85	4.01	1
2002	4.95	4.29	3.81	3.96	4.20	4.62	4.84	5.43	5.27	4.60	3.99	4.07	2
2003	4.36	4.26	3.47	4.12	3.81	3.34	4.65	4.82	4.34	4.07	3.96	3.66	1
2004	5.13	4.32	4.67	4.03	4.13	4.61	4.08	5.70	4.55	4.43	4.30	4.42	2
2005	4.03	3.92	3.30	3.58	3.95	3.64	4.44	4.99	4.67	3.63	4.29	3.13	1
Prom	4.23	4.16	3.79	3.91	3.73	4.05	4.53	5.00	4.52	4.37	4.13	4.05	
Desv. St.	0.59	0.54	0.40	0.23	0.32	0.59	0.38	0.44	0.55	0.43	0.35	0.48	

SD: Meses sin datos de temperatura media y/o heliofanía

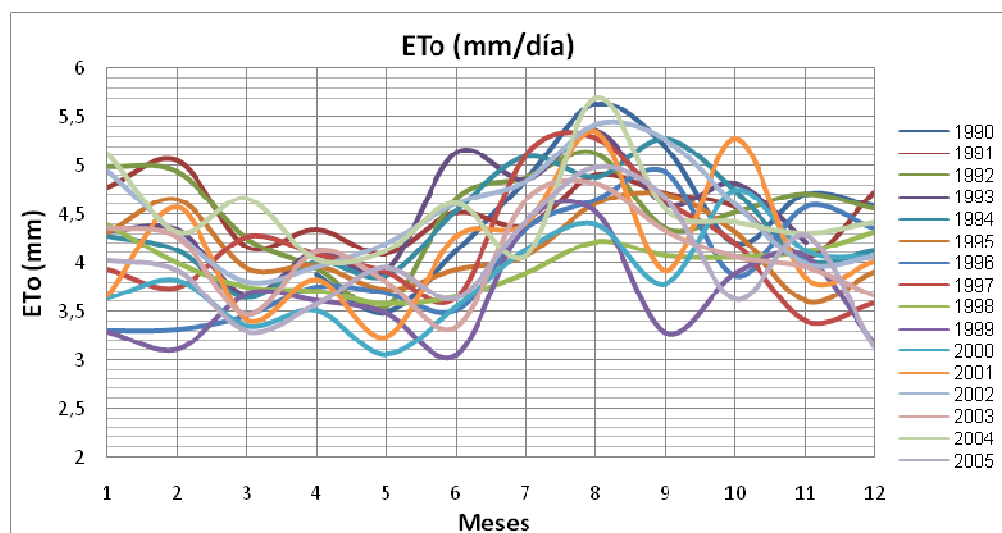
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Valores Calculados

En el Gráfico 4.7, se presentan a los valores de ETo en mm/día estimados usando el método de la radiación. Se obtienen resultados individuales de cada mes de todos los años con registros, para apreciar las tendencias de las curvas de cada año.

Multiplicando por el número de días de cada mes, los valores estimados de ETo con el método de la Radiación, se pueden determinar los valores de ETo mensuales (mm/mes), que se presentan en la Tabla 4.15.

GRÁFICO 4.7: VALORES DE ETo (mm/día) ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE LA RADIACIÓN



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

TABLA 4.15: VALORES DE ETo (mm/mes) ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE LA RADIACIÓN

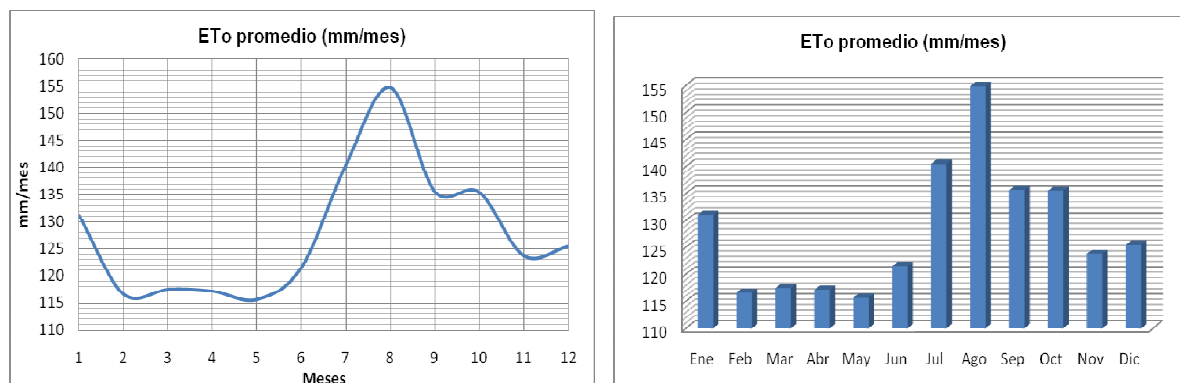
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1990	SD	SD	SD	116.7	108.3	124	150.5	174.8	155.8	130.3	141.3	142.1
1991	148.1	141.4	129.1	130.3	127	135.6	136	152.1	141.6	142	121.6	146.4
1992	154.8	138.3	131.7	118.6	110	140	151.4	159.1	130.6	140.2	141.4	141.3
1993	134.2	121.6	113.6	123.6	121.4	154.3	150.7	166.3	138.2	149.3	126.4	SD
1994	132.5	115.7	112.9	120.4	119.9	136.2	158	151.6	158.6	146.9	121.2	128
1995	134	130.3	122.3	119.1	115.5	117.9	126.1	142.9	141.2	133.9	108.2	121.1
1996	102.6	93.01	107.2	112.7	114.4	105.4	135.1	144.3	148.1	119.8	137.3	135
1997	121.8	105.1	132.4	122.8	121.1	109.3	158.7	163.9	139.1	130.3	102.1	111.3
1998	136.4	111.9	116.4	111.4	110.9	109.7	120.9	130.9	122.2	125.8	123.4	133.9
1999	102.1	87.09	114.2	108.2	107.9	91.55	137.1	140.5	98.39	120.7	122.1	98.64
2000	112.8	106.9	104.1	105.5	94.76	106.3	128.2	136.5	113.7	147.3	123.8	125.9
2001	113.7	128.1	106	114.9	100.5	128.2	136.7	165.9	117.8	163.8	115.4	124.3
2002	153.3	120	118.1	118.8	130.1	138.5	150.1	168.2	158	142.5	119.8	126
2003	135.3	119.3	107.6	123.5	118.1	100.2	144.2	149.4	130.1	126.1	118.7	113.5
2004	159	120.9	144.7	121	127.9	138.4	126.5	176.8	136.6	137.2	129	136.9
2005	124.9	109.7	102.4	107.4	122.6	109.2	137.6	154.7	140.1	112.4	128.6	97.11
Prom	131	116.6	117.5	117.2	115.7	121.6	140.5	154.9	135.6	135.5	123.8	125.4
Desv. St.	18.14	15.1	12.29	6.784	9.861	17.8	11.79	13.73	16.57	13.2	10.65	15.01

SD: Meses sin datos de temperatura media y/o heliofanía

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En el gráfico 4.8, se presentan los valores promedio mensual de ETo, estimados con el método de la Radiación, para apreciar la tendencia anual de los valores.

GRÁFICOS 4.8: EVAPOTRANSPIRACIÓN PROMEDIO MENSUAL



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Resultados del método:

- De los valores estimados y la apreciación de los Gráficos 4.7 y 4.8, se puede verificar, que la tendencia de la mayoría de curvas indican que, en el mes de agosto se alcanza los mayores valores de evapotranspiración promedio y se encuentra los máximos valores calculados. Además, que en los meses de marzo y mayo hay una tendencia en la mayoría de las curvas que demuestran que en estos meses se presentan los menores valores de ETo.
- Se obtiene los valores puntuales más altos de ETo en los meses de agosto, octubre, junio y febrero en orden decreciente. En contraste, también son los meses de febrero y junio, los que en ciertos años han presentado los valores más bajos de ETo. Es un aspecto que sirve para comprobar, que las curvas graficadas de todos los años, no presentan homogeneidad en la tendencia de las estimaciones, lo cual debe ser considerado al escoger el método más adecuado y representativo del proceso de evapotranspiración.

ESTIMACIÓN DE LA ET_0 CON EL MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO.

Las ecuaciones recomendadas para el método, son una relación que considera los factores de la radiación y a la vez factores aerodinámicos, como son las siguientes.

$$(2.4) \quad ETo = c * [W.Rn + (1-W)*f(U)*(ea-ed)]$$

[Término de la radiación + Término aerodinámico]

$$(2.5) \quad Rn = Rns - Rnl$$

$$Rn = [(1-\alpha)*(0,25 + 0,50*n/N)*Ra] - [f(T)*f(ed)*f(n/N)]$$

Cálculo de la Radiación Neta (Rn).

Valores de corrección de temperatura $f(T)$.

Se usa los valores de temperatura media mensual de todos los años de registro de la estación "Tomalón-Tabacundo", para obtener los valores de corrección para la temperatura $f(T)$. Para obtener la relación para calcular $f(T)$ a partir de cualquier valor temperatura, se grafican los valores tabulados por la FAO, para ajustar una curva esos valores, de la cual se obtiene una ecuación que relacione las variables.

En la Tabla 4.16, se presenta los valores de $f(T)$ en función de la temperatura, presentados por la FAO.

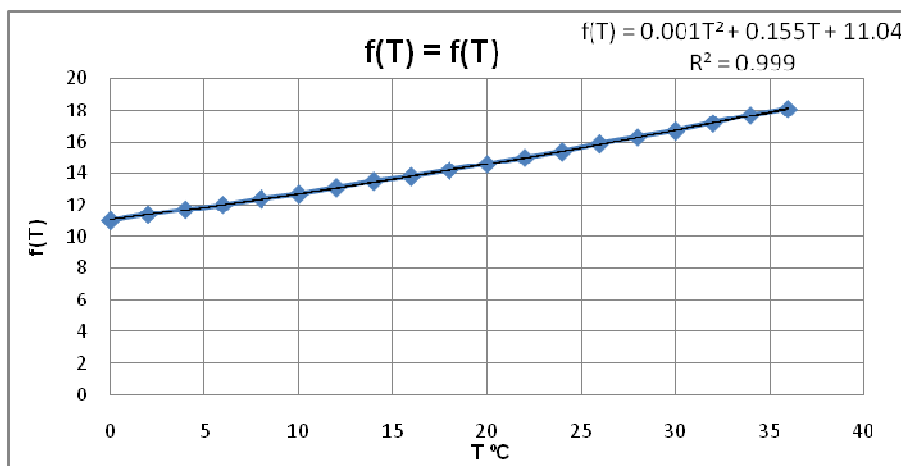
TABLA 4.16: CORRECCIONES DE TEMPERATURA $f(T)$

T °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
f(T)	11	11	12	12	12	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16	17	17	18	18

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

En el Gráfico 4.9, se presenta la curva de ajuste a los valores de la Tabla 4.16, de la cual se la ecuación de corrección de temperatura $f(T)$.

GRÁFICO 4.9: CORRECCIONES DE TEMPERATURA $f(T)$ EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL T



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Del Gráfico 4.9, se obtiene la ecuación de la curva que relaciona la temperatura media mensual con los valores de corrección: $f(T) = 0.001 \cdot T^2 + 0.155 \cdot T + 11.04$, obtenida de la mejor correlación con una curva de tendencia polinómica.

Se pueden calcular con la ecuación de ajuste, los valores de $f(T)$ a partir los registros de temperatura media T de la estación Tomalón-Tabacundo. En la Tabla 9, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de correcciones de temperatura $f(T)$.

Valores de presión saturante de vapor (e_a)

Los valores de (e_a), se los obtiene en función de la temperatura media del aire. Se usan los valores de referencia de la FAO, que se presentan en la Tabla 4.17, para determinar la ecuación de la curva de mejor ajuste a los datos, que nos permita calcular los valores de (e_a), a partir de los registros de temperatura media de la estación Tomalón - Tabacundo.

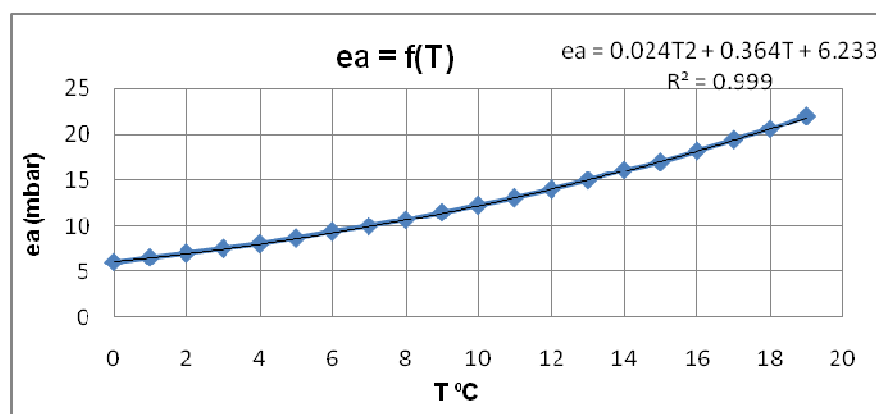
TABLA 4.17: PRESIÓN SATURANTE DE VAPOR (ea) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA (T)

T °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ea (mbar)	6	7	7	8	8	9	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

En el Gráfico 4.10, se presentan los valores de la Tabla 4.17, a los cuales se ajusta una curva, de la que se obtiene la ecuación, que permite calcular los valores de presión saturante de vapor, en función de la temperatura media.

GRÁFICO 4.10: PRESIÓN SATURANTE DE VAPOR (ea) EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA (T)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Del Gráfico 4.10, se obtiene la ecuación $ea = 0.024 \cdot T^2 + 0.364 \cdot T + 6.233$, que permite calcular la presión de saturación de vapor, en función de la temperatura media. En la Tabla 10, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de (ea).

Valores de presión de vapor (ed).

A partir de datos de referencia de la FAO que se presentan en la Tabla 4.18, se cuenta con valores de relación entre la presión de vapor (ed), que corresponden a cada temperatura del punto de rocío Tpr. Sobre éstos datos que se representan en el

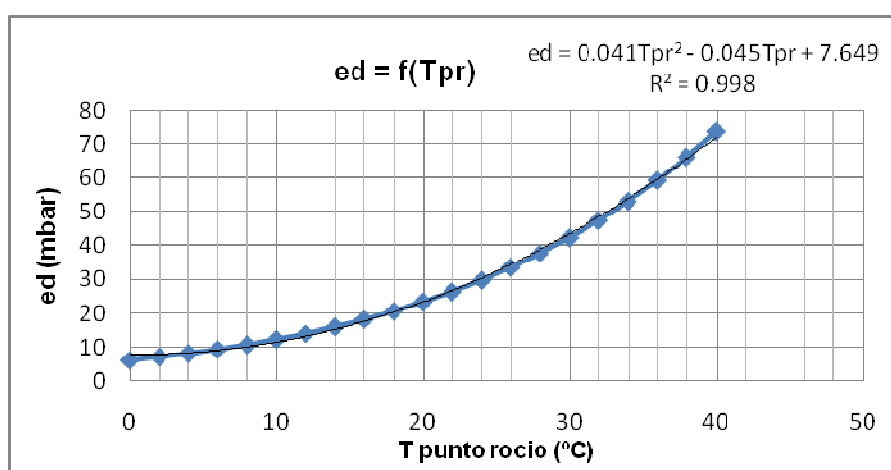
Gráfico 4.11, se puede ajustar una curva, de la cual se puede obtener una ecuación que permita calcular los valores de (ed), para cualquier registro de Tpr, de la estación Tomalón - Tabacundo.

TABLA 4.18: PRESIÓN DE VAPOR EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO

Tpr °C	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
ed (mbar)	6	7	8	9	11	12	14	16	18	21	23	26	30	34	38	42	48	53	59	66	74

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

GRÁFICO 4.11: PRESIÓN DE VAPOR EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE PUNTO DE ROCÍO



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Del Gráfico 4.11, se obtiene la ecuación $ed = 0.041 \cdot Tpr^2 + 0.045 \cdot Tpr + 7.649$, que permite calcular la presión de vapor en función de los valores mensuales de temperatura de punto de rocío. En la Tabla 11, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de presión de vapor.

Valores de corrección de presión de vapor $f(ed)$.

Con los valores calculados de presión de vapor, se pueden obtener sus valores de corrección usando la relación que ha determinado la FAO para este proceso:

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 \sqrt{ed} \quad (4.9)$$

Con la ecuación 4.9, se pueden corregir los valores de (ed) , calculados a partir de la temperatura de punto de rocío. En la Tabla 12, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de corrección de presión de vapor $f(ed)$

Corrección de la relación de horas reales de fuerte insolación sobre las máximas posibles $f(n/N)$.

De los valores de n/N ya obtenidos en el método de la radiación a partir de los registros de heliofanía y las horas máximas posibles de insolación, se calcula su corrección $f(n/N)$, usando la relación sugerida por la FAO:

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9n/N \quad (4.10)$$

En la Tabla 13, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de corrección de la relación, de horas reales de fuerte insolación sobre las máximas posibles $f(n/N)$.

Valores de radiación neta (R_n).

Se utilizan los mismos valores calculados en el método de la radiación. Contando con todos los valores necesarios calculados, se puede determinar los valores de radiación neta R_n , para cada mes de cada año con registros, usando la ecuación:

$$(2.5) \quad R_n = [(1 - \alpha)(0,25 + 0,50n/N).R_a] - [f(t).f(ed).f(n/N)]$$

En la Tabla 14, del ANEXO N° 3, se presenta los valores calculados de radiación neta expresada en la equivalencia mm/día.

Valores de la función del viento $f(U)$.

Para determinar los valores de $f(U)$, se utiliza la relación que permite aproximar los efectos del viento para usarse en la estimación de la ETo:

$$f(U) = 0.27 \left(1 + \frac{U}{100} \right) \quad (4.11)$$

Los valores de velocidad media del viento en km/día (U), se obtienen de los registros de la estación Tomalón - Tabacundo para todos los meses de cada año que cuenta con registros. En la Tabla 15, del ANEXO N° 3, se presenta los valores de velocidad media del viento en km/día (U).

En la Tabla 16, del ANEXO N° 3, se presenta los valores de la función de viento $f(U)$, calculados con la ecuación (4.11)

En la Tabla 4.19, se presentan los valores estimados de ETo en mm/día, que se obtienen con todos los valores previamente calculados, usados en la ecuación:

$$(2.4) \quad ETo = c * [W.Rn + (1-W)*f(U)*(ea-ed)]$$

TABLA 4.19: VALORES DE ETo (mm/día) ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	3.548	3.207	1.772	2.207	2.215
1991	2.144	2.358	1.592	1.782	0.736	2.018	2.742	3.636	2.941	2.687	1.626	2.123
1992	2.511	2.289	1.854	1.628	1.493	3.224	3.586	3.380	2.360	2.540	2.208	2.263
1993	1.986	1.867	1.574	1.611	1.656	3.282	3.093	4.024	2.116	2.282	1.677	SD
1994	1.907	1.760	1.428	1.700	1.647	2.674	3.675	3.356	3.552	2.201	1.648	1.820
1995	2.447	2.441	1.860	1.882	1.744	2.109	2.258	2.668	2.924	2.094	1.400	1.643
1996	1.210	1.306	1.246	1.468	1.495	1.563	2.345	2.889	2.859	1.671	2.343	2.101
1997	1.609	1.682	1.980	1.872	2.014	1.749	3.815	3.876	2.724	2.214	1.376	1.786
1998	2.409	1.895	1.654	1.427	1.792	1.957	2.212	2.478	2.251	2.079	1.804	2.118
1999	1.292	1.122	1.579	1.539	1.590	1.334	2.878	2.732	1.506	1.847	1.924	1.223
2000	1.630	1.654	1.314	1.415	1.180	1.720	2.554	2.965	1.747	2.842	2.135	2.154

TABLA 4.19: CONTINUACIÓN

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2001	1.819	2.685	1.500	1.976	1.598	2.955	2.997	4.877	2.438	3.390	2.014	1.891
2002	2.642	2.061	1.647	1.602	2.389	3.418	3.363	4.275	3.461	2.540	1.941	2.101
2003	2.610	2.386	1.799	2.124	2.123	1.979	3.635	3.910	2.821	2.084	2.017	2.000
2004	2.685	2.174	2.687	1.970	2.081	3.829	2.752	5.050	3.160	2.247	2.132	2.120
2005	2.208	1.984	1.583	1.972	2.438	2.582	3.866	4.119	3.839	2.057	2.392	1.502
Prom	2.074	1.978	1.686	1.731	1.732	2.426	3.051	3.611	2.744	2.284	1.928	1.937
Desv. St.	0.487	0.432	0.342	0.226	0.443	0.769	0.577	0.762	0.646	0.435	0.314	0.294

SD: Meses sin datos de velocidad media del viento y/o temperatura de punto de rocío, temperatura media, heliofanía.

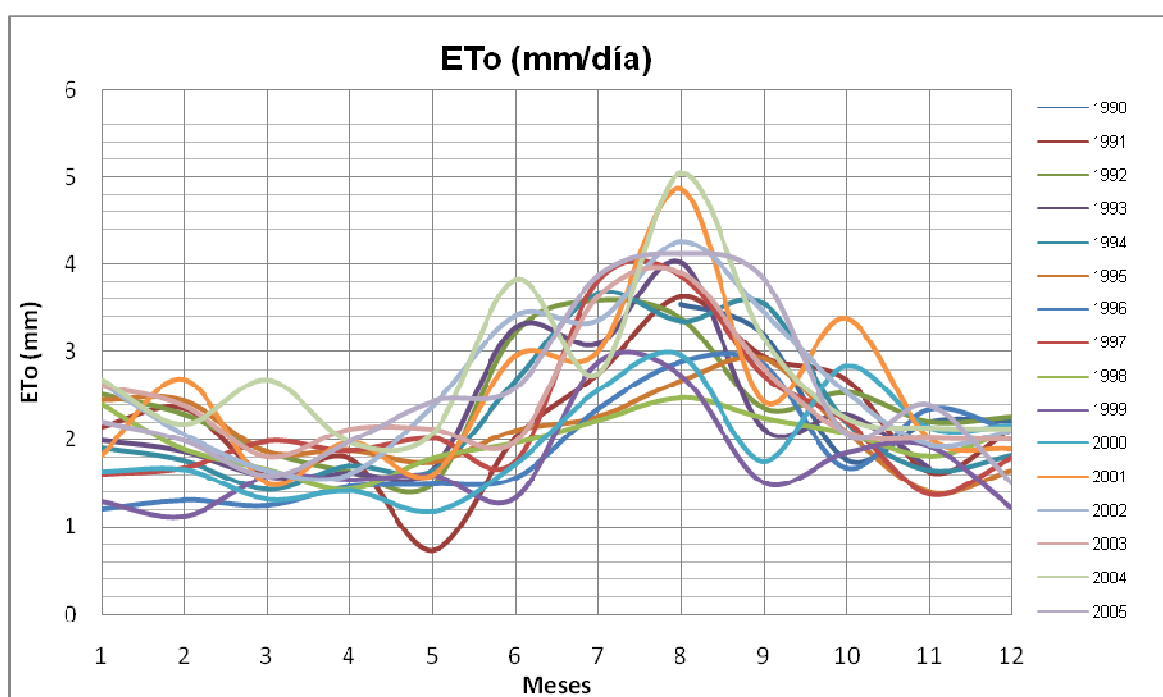
FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

En la estimación de los valores de ETo, se debe considerar que no se ha utilizado el factor de corrección (c), ya que la elección de estos valores, se puede hacer en función de las relaciones entre vientos diurnos y nocturnos, valores que no están disponibles en los anuarios meteorológicos nacionales. Otros factores, que pueden permitir elegir los factores de corrección (c), son la velocidad de vientos (U) y la Radiación Solar Rs. Analizando los datos de velocidad de vientos de la zona, se tienen valores promedio de velocidad de vientos menores de 3m/s, que se clasifican como vientos débiles. Los valores de Radiación solar Rs, para la zona del proyecto están en el rango de 6 a 9 mm/día. En el rango de valores de velocidad de viento débiles y valores de Rs en los rangos de 6 a 9 mm/día, se podrían definir valores aproximados de factor de corrección (c) de 1.06 y 1.10, para condiciones de igual velocidad de viento diurna y nocturna. Para el caso de la presente investigación, no conviene modificar los valores estimados de ETo por un factor definido sin mucha especificidad y sin poder determinar las relaciones entre la velocidad de viento diurna y nocturna, por ausencia de estos registros.

En definitiva no se ha considerado adecuada la aplicación de este factor de corrección (c), que influye en el valor global de ETo, que se ha logrado estimar con registros climáticos disponibles y específicos en lo posible.

En el Gráfico 4.12, se presentan los valores de ETo en mm/día, estimados con el método de Penman modificado, para apreciar la tendencia de todos los valores mensuales de cada año con registros.

GRÁFICO 4.12: EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA ESTIMADA CON EL MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO (mm/día)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En la Tabla 4.20, se presentan los valores de ETo en mm/mes, determinados a partir de los valores en mm/día, usando el número de días de cada mes.

TABLA 4.20: VALORES DE ETo (mm/mes) ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	110.00	96.22	54.93	66.21	68.66
1991	66.47	66.04	49.36	53.47	22.82	60.55	85.00	112.70	88.23	83.29	48.78	65.83
1992	77.85	64.09	57.46	48.84	46.29	96.73	111.20	104.80	70.80	78.73	66.25	70.15

1993	61.57	52.28	48.79	48.34	51.33	98.47	95.88	124.70	63.47	70.73	50.31	SD
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	----

TABLA 4.20: CONTINUACIÓN

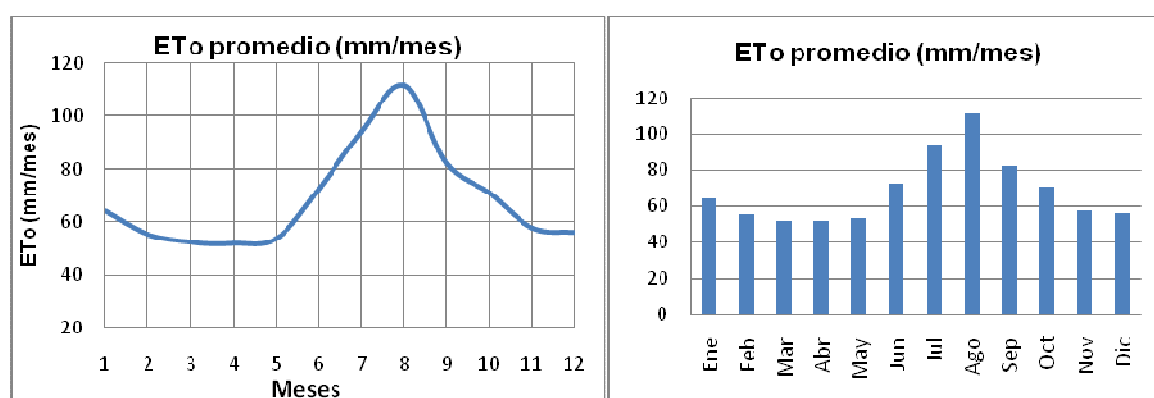
Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	59.10	49.28	44.27	50.99	51.06	80.23	113.90	104.00	106.60	68.22	49.45	56.42
1995	75.87	68.34	57.66	56.46	54.07	63.28	70.00	82.70	87.71	64.90	42.00	50.92
1996	37.50	36.57	38.63	44.03	46.34	46.89	72.70	89.56	85.76	51.80	70.28	65.13
1997	49.86	47.10	61.37	56.17	62.43	52.47	118.30	120.20	81.71	68.62	41.29	55.38
1998	74.67	53.06	51.29	42.81	55.54	58.71	68.56	76.83	67.53	64.46	54.13	65.67
1999	40.06	31.42	48.96	46.17	49.30	40.01	89.21	84.68	45.17	57.26	57.72	37.92
2000	50.52	46.31	40.73	42.45	36.57	51.61	79.18	91.90	52.41	88.10	64.05	66.78
2001	56.40	75.19	46.51	59.29	49.53	88.65	92.92	151.20	73.14	105.10	60.43	58.61
2002	81.89	57.72	51.06	48.07	74.06	102.50	104.20	132.50	103.80	78.73	58.22	65.14
2003	80.92	66.82	55.77	63.71	65.82	59.38	112.70	121.20	84.62	64.61	60.51	61.99
2004	83.24	60.88	83.29	59.09	64.52	114.90	85.32	156.60	94.81	69.66	63.96	65.71
2005	68.45	55.56	49.07	59.16	75.58	77.47	119.90	127.70	115.20	63.76	71.76	46.56
Prom	64.29	55.38	52.28	51.94	53.69	72.79	94.59	112.00	82.32	70.81	57.83	56.31
Desv. St.	15.10	12.09	10.60	6.78	13.74	23.06	17.89	23.63	19.37	13.49	9.41	17.41

SD: Meses sin datos de velocidad media del viento y/o temperatura de punto de rocío, temperatura media, heliofanía.

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

En el Gráfico 4.13, se representa los valores promedio mensuales de ET_o , para apreciar la tendencia anual de los valores.

GRÁFICOS 4.13: VALORES PROMEDIO MENSUALES DE ET_o ESTIMADOS CON EL MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Resultados del método:

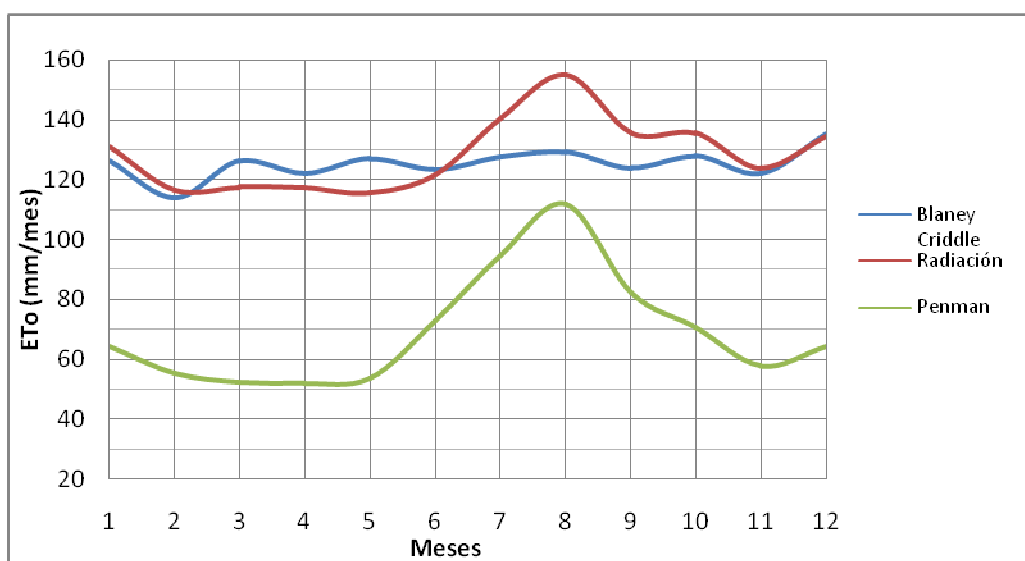
- Los valores estimados con el método de Penman, presentados en el Gráfico 4.12, ubican al mes de agosto con los mayores valores de ETo. Se puede determinar que en el periodo entre junio y septiembre, los valores de ETo son los mayores del año. Los meses con menores valores de ETo, son marzo y abril.
- Los meses de abril, noviembre y diciembre, tienen valores más homogéneos de ETo, con un rango de variación aproximado de 1mm/día de evapotranspiración, lo que demuestra que en todos los años de registros, son éstos meses, los que tienen la menor variación histórica de ETo.
- Los meses con mayor rango de variaciones de ETo, son junio, agosto y septiembre. En éstos meses se puede notar un rango de variación de los valores históricos anuales de aproximadamente 3 mm/día.
- Los valores obtenidos con el método de Penman, demuestran mayor seguridad y representatividad del fenómeno de la evapotranspiración, ya que usa el mayor número de variables en comparación con el método de la Radiación. Es de importancia la tendencia que muestra el Gráfico 4.12, que es mucho más afinada y con los datos más ordenados. Conforman un gráfico que denota una tendencia muy notable y apreciativa de fenómeno de la evapotranspiración, determinado por las condiciones climáticas de la zona.

ELECCIÓN DE VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ESTIMADOS.

Estimada la ETo por los tres métodos propuestos, se procede a elegir los valores que pueden representar satisfactoriamente las pérdidas por evapotranspiración, definidas por las condiciones climáticas de la zona, que es el principal uso consuntivo de los cultivos. Es importante esta elección para evitar obtener un balance hídrico erróneo que sobrestime o subestime la necesidad de agua de los cultivos.

En el Gráfico 4.14, se comparan los valores promedio de ETo obtenidos con los tres métodos de estimación, para apreciar en conjunto las tendencias y elegir los valores que tiene mejor representación de la ETo, acorde a las condiciones climáticas mensuales típicas de la zona.

GRÁFICO 4.14: EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA PROMEDIO OBTENIDA CON LOS TRES METODOS DE ESTIMACION (mm/mes)



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Del Gráfico 4.14, se puede notar algunas variaciones y la representatividad de los diferentes métodos de estimación. El método de la Radiación y el método de Penman, muestran una tendencia que se ajusta a la realidad climática típica de la zona, es decir, el aumento de valores de ETo en los meses de mayores temperaturas y días de sol y la disminución en los días de lluvias nublados y de menores temperaturas.

Se debe destacar que; comparando los valores de estimación obtenidos con los métodos Blaney Criddle, de la Radiación y Penman modificado, representados en los Gráficos N° 4.4, N° 4.7 y N° 4.12, respectivamente, es notable el mayor orden y menor dispersión de los datos mensuales de cada año, estimados con el método de Penman. Entonces se considera viable el uso del promedio de los valores mensuales de todos los años estimados con el método de Penman, como los representativos de la evapotranspiración que se produce en cada mes del año.

El clima representado por la evapotranspiración, es el factor que determina la cantidad de agua que consume un cultivo. El método de Penman, considera en su relación de cálculo, la mayor cantidad de variables climáticas, lo cual es una importante justificación para elegir al método de Penman, como el más idóneo para representar el potencial consumo de agua de los cultivos, en cada mes del año.

Es importante considerar, el rango de valores que los tres métodos estiman, comparando los valores mensuales de evapotranspiración obtenidos de todos los meses y años con registros históricos. El método de Penman, ha podido estimar satisfactoriamente la evapotranspiración en la época de lluvia y en la época seca, notándose esto en la tendencia de las curvas de todos los valores mensuales estimados de todos los años con registros climáticos completos. El rango de estimación, se define por la diferencia entre el mayor y el menor valor de todos los datos. Con el método de Penman, se puede estimar un rango más amplio de necesidades de agua de los cultivos, en comparación con los otros dos métodos, como se puede apreciar en la Tabla 4.21.

TABLA 4.21: RANGO DE ESTIMACIÓN DE LOS METODOS UTILIZADOS

Método	ETo (mm/día)		
	Valor MAX	Valor MIN	Rango
Blaney Criddle	4.35	3.91	0.44
De la Radiación	5.70	3.05	2.65
Penman Modificado	5.05	0.74	4.31

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En las estructuras de cultivo y riego tradicional que se proponen, del tipo terrazas y camellones, es muy importante considerar adecuadamente cuales son las necesidades de agua que deben suplir. Usando los valores de evapotranspiración obtenidos con el método de Penman, se puede representar de la mejor forma el consumo mensual de agua del cultivo, que comparado con el volumen mensual de lluvias, que los sistemas tradicionales serían capaces de captar evitando la escorrentía, se puede verificar satisfactoriamente, hasta que punto los sistemas de riego tradicionales pueden disminuir el déficit hídrico en los meses de siembra, crecimiento y maduración de los cultivos, en comparación con las prácticas

comunes y convencionales actuales de la comunidad, como la siembra en surcos y contornos principalmente.

Si se planifica la siembra en meses secos, donde es necesario el aporte artificial de agua, los valores de evapotranspiración adecuadamente estimados, nos permitirán determinar, cual es el volumen de agua que se debería adicionar a las parcelas o directamente a las estructuras de acumulación de agua en los camellones y terrazas para suplir las necesidades de agua de los cultivos. Puede ser viable la práctica de adición de agua directamente a los canales de acumulación de agua en las estructuras a diseñarse, si el riego se lo realizaría por acequia, manguera o tubería. Si el método de riego es del tipo aspersion, la adición de agua sería directamente a los montículos de cultivo, con la dosificación acorde a los valores de evapotranspiración estimados. Por el radio de cobertura del sistema de aspersion, cierto volumen de agua llegaría a los canales de los sistemas de camellones o terrazas, que lo acumularían y mantendrían a disponibilidad de los cultivos en las horas que ha cesado la aplicación de riego.

El tipo de sistema de albarradas, tiene otro criterio de aplicación, ya que éstos sistemas son predominantemente para fines de acumulación de escorrentía externa, para evitar procesos de erosión hídrica. El agua captada en las albarradas (reservorios), se mantendría en condiciones tales que pueda ser infiltrada sub-perficialmente desde la cabecera del terreno. Este sistema no es de mucha utilidad para satisfacer directamente e inmediatamente las necesidades de agua de los cultivos sembrados en la parcela, porque el proceso de infiltración y transmisión de agua a través del suelo y en longitudes considerables, es mucho más complejo y requeriría otro tipo de análisis experimental mucho más desarrollado.

4.2.7 CALCULO DE LAS NECESIDADES MENSUALES DE RIEGO, DE LOS CULTIVOS TRADICIONALES DE LA COMUNIDAD.

Estimados los valores de evapotranspiración de referencia E_{To} , el siguiente paso es conseguir una particularización de éstos valores para cada tipo de cultivo, y su

fase de desarrollo. Para la comunidad Santa Rosa de Ayora se determinan los valores de evapotranspiración del cultivo ETc, para la papa, trigo, cebada y maíz que son productos tradicionales, parte de la alimentación de los habitantes de la zona.

De la bibliografía consultada y la información verbal de conversaciones con miembros de la comunidad, que activamente se han dedicado a la siembras de sus terrenos, se pueden definir adecuadamente la duración del crecimiento de los cultivos de interés.

En la Tabla 4.22, se presentan los periodos de duración de los cultivos de maíz, papa, trigo y cebada, desde la siembra hasta la cosecha, además los meses tradicionales en los que se siembra, en función del ocurrencia natural de lluvias.

TABLA 4.22: DURACIÓN DEL PERIODO DE SIEMBRA Y COSECHA DE CULTIVOS

Cultivo	Periodo Siembra-Cosecha (meses)	Días	Mes de siembra
Maíz	5 a 6	150-180	Septiembre
Papas	6 a 7	180-210	Diciembre
Trigo/Cebada	5 a 6	150-180	Enero

FUENTE: FAO. Evapotranspiración del cultivo. Roma, 2006 / Agricultores de la comunidad

En las Tablas 4.23, 4.24 y 4.25, se presentan los coeficientes de cultivos a usarse en función de las etapas de crecimiento de cada tipo de cultivo. Además, se identifican los ciclos vegetales que se ajustan a la duración definida por la experiencia de los agricultores de la comunidad. En las Tablas 4.26, 4.27 y 4.28, se presentan los valores de ETc para los cultivos de maíz, trigo, cebada y papa.

TABLAS 4.23: COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DURACIÓN DE CRECIMIENTO DE 7 Y 8 MESES DEL MAIZ SUAVE

CULTIVO: MAIZ SUAVE																									
Ciclo Vegetal	Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
7 meses	Kc	0.29	0.37	0.47	0.57	0.67	0.77	0.86	0.94	1.00	1.04	1.05	1.05	1.03	0.99	0.93	0.85	0.76	0.68	0.59	0.51	0.45			
8 meses	Kc	0.29	0.37	0.45	0.54	0.63	0.71	0.80	0.88	0.94	0.99	1.03	1.05	1.05	1.05	1.03	0.99	0.94	0.87	0.80	0.72	0.64	0.57	0.51	0.45

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/rehidricos.htm>

GRAFICO 4.16
CURVA DE CRECIMIENTO DEL MAIZ SUAVE

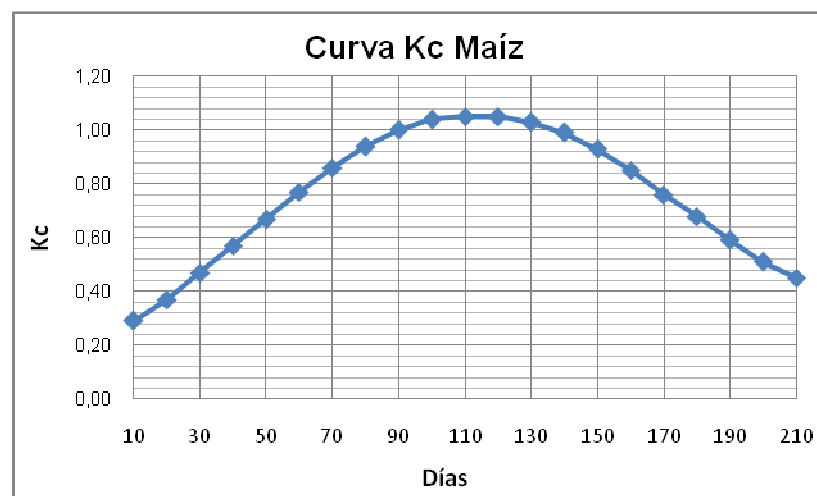


TABLA 4.24: COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DURACIÓN DE CRECIMIENTO DE 6, 7 Y 8 MESES DEL TRIGO Y CEBADA

CULTIVO: TRIGO Y CEBADA																										
Ciclo Vegetal	Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	19	200	210	220	230	240	
6 meses	Kc	0.20	0.27	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.93	1.01	1.04	1.05	1.04	0.98	0.85	0.67	0.46	0.31	0.20							
7 meses	Kc	0.20	0.24	0.32	0.41	0.51	0.62	0.73	0.84	0.93	0.99	1.03	1.05	1.04	1.01	0.93	0.79	0.63	0.50	0.36	0.26	0.20				
8 meses	Kc	0.20	0.26	0.33	0.41	0.49	0.57	0.66	0.75	0.83	0.91	0.97	1.02	1.05	1.05	1.04	1.00	0.92	0.80	0.67	0.54	0.43	0.32	0.25	0.20	

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/reqhidricos.htm>

GRAFICO 4.17

CURVA DE CRECIMIENTO DEL TRIGO Y CEBADA

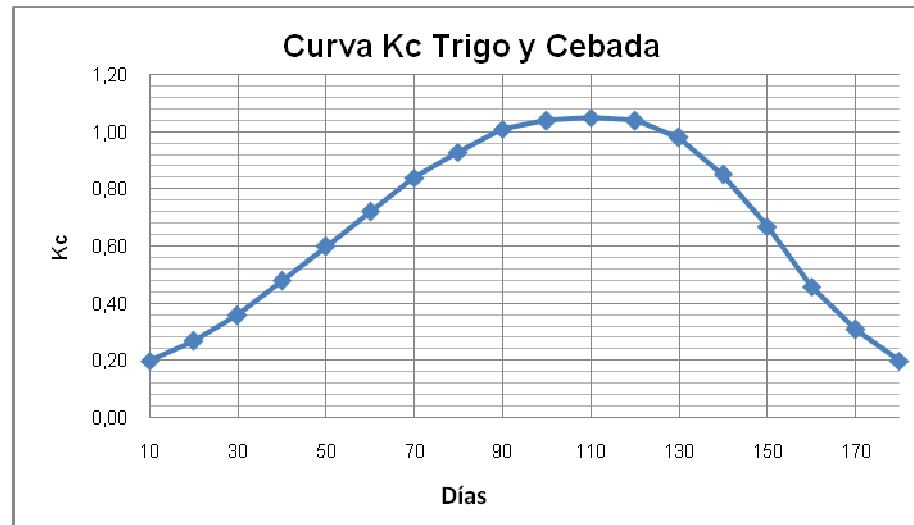


TABLA 4.25: COEFICIENTES DE CULTIVO PARA DURACIÓN DE CRECIMIENTO DE 5, 6 Y 7 MESES DE LA PAPA

CULTIVO: PAPA																						
Ciclo Vegetal	Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
5 meses	Kc	0.40	0.45	0.51	0.59	0.68	0.78	0.88	0.97	1.03	1.05	1.05	1.01	0.92	0.80	0.70						
6 meses	Kc	0.40	0.44	0.50	0.58	0.67	0.76	0.84	0.92	0.99	1.03	1.05	1.05	1.03	0.98	0.90	0.83	0.76	0.70			
7 meses	Kc	0.36	0.41	0.47	0.54	0.61	0.69	0.77	0.85	0.92	0.97	1.01	1.03	1.05	1.05	1.03	1.00	0.94	0.86	0.78	0.71	0.65

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/rehidricos.htm>

**GRAFICO 4.18
CURVA DE CRECIMIENTO DE LA PAPA**

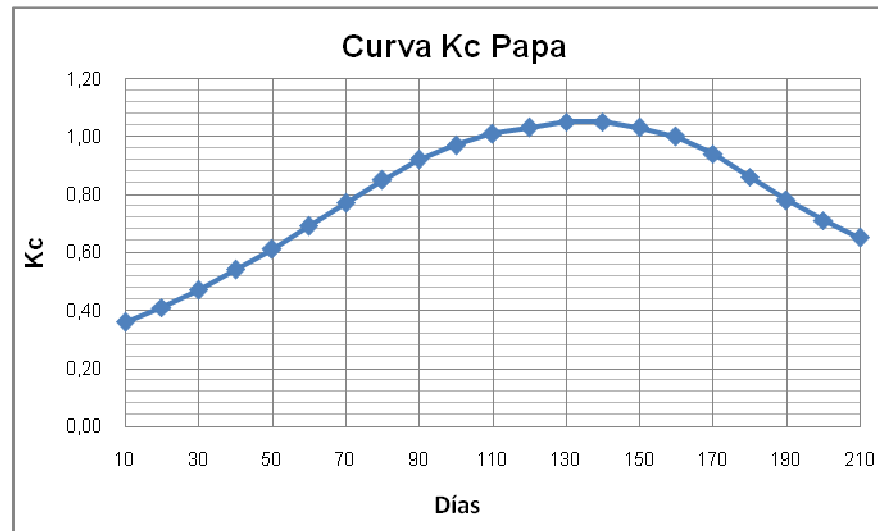


TABLA 4.26: VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO ET_c DE MAÍZ

MAÍZ																					
Mes	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre			Enero			Febrero			Marzo		
Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Kc	0.29	0.37	0.47	0.57	0.67	0.77	0.86	0.94	1.00	1.04	1.05	1.05	1.03	0.99	0.93	0.85	0.76	0.68	0.59	0.51	0.45
ET_o (mm/día)	2.744	2.744	2.744	2.284	2.284	2.284	1.928	1.928	1.928	1.937	1.937	1.937	2.074	2.074	2.074	1.978	1.978	1.978	1.686	1.686	1.686
ET_c (mm/día)	0.796	1.015	1.290	1.302	1.530	1.759	1.658	1.812	1.928	2.015	2.034	2.034	2.136	2.053	1.929	1.681	1.503	1.345	0.995	0.860	0.759
Nº Días/mes	30			31			30			31			31			28			31		
ET_c (mm/mes)	23.87	30.46	38.69	40.36	47.44	54.52	49.74	54.36	57.83	62.46	63.06	63.06	66.22	63.65	59.79	47.07	42.09	37.66	30.85	26.66	23.53

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/rehidricos.htm>

TABLA 4.27: VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LOS CULTIVOS ET_c DE TRIGO Y CEBADA

TRIGO Y CEBADA																		
Mes	Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
Kc	0.20	0.27	0.36	0.48	0.60	0.72	0.84	0.93	1.01	1.04	1.05	1.04	0.98	0.85	0.67	0.46	0.31	0.20
ET_o (mm/día)	2.074	2.074	2.074	1.978	1.978	1.978	1.686	1.686	1.686	1.731	1.731	1.731	1.732	1.732	1.732	2.426	2.426	2.426
ET_c (mm/día)	0.415	0.560	0.747	0.949	1.187	1.424	1.417	1.568	1.703	1.800	1.818	1.800	1.697	1.472	1.160	1.116	0.752	0.485
Nº Días/mes	31			28			31			30			31			30		
ET_c (mm/mes)	12.86	17.36	23.15	26.58	33.23	39.87	43.92	48.62	52.80	54.01	54.53	54.01	52.61	45.63	35.97	33.48	22.57	14.56

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/rehidricos.htm>

TABLAS 4.28: VALORES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO ETc DE PAPA

PAPAS																					
Mes	Diciembre			Enero			Febrero			Marzo			Abril			Mayo			Junio		
Días	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
Kc	0.36	0.41	0.47	0.54	0.61	0.69	0.77	0.85	0.92	0.97	1.01	1.03	1.05	1.05	1.03	1.00	0.94	0.86	0.78	0.71	0.65
ETo (mm/día)	1.937	1.937	1.937	2.074	2.074	2.074	1.978	1.978	1.978	1.686	1.686	1.686	1.731	1.731	1.731	1.732	1.732	1.732	2.426	2.426	2.426
ETc (mm/día)	0.697	0.794	0.911	1.12	1.265	1.431	1.523	1.681	1.82	1.636	1.703	1.737	1.818	1.818	1.783	1.732	1.628	1.489	1.893	1.723	1.577
Nº Días/mes	31			31			28			31			30			31			30		
ETc (mm/mes)	21.62	24.62	28.23	34.72	39.22	44.36	42.64	47.07	50.95	50.71	52.80	53.85	54.53	54.53	53.50	53.69	50.46	46.17	56.78	51.68	47.31

FUENTE: Ministerio del Agricultura y Ganadería Ecuador. MAG, 2000.

<http://www.sica.gov.ec/agro/docs/rehidricos.htm>

4.3 CALCULO DE VALORES DE BALANCE HÍDRICO PARA PLANIFICACIÓN DE RIEGO.

Calculados y estimados, todos los valores necesarios para verificar las condiciones de balance hídrico agrícola para la zona, se procede a definir los valores mensuales de balance hídrico para evaluar los resultados. Usando la relación de irrigación de aporte natural (I_n), si se obtienen valores positivos, representan la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo por irrigación de aporte natural por lluvias, y además un exceso de agua, el mismo que se puede retener en los canales y canaletas de las estructuras de camellones y terrazas. Los valores negativos obtenidos, representarían el déficit de agua que se debería suplir de una fuente externa, para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

$$\text{Irrigación de aporte natural } (I_n) = P - E_s - E_{Tc} + A_{lm} \quad (4.12)$$

$$P_{ef} = P - E_s$$

Se simplifican las expresiones de balance, únicamente considerando los valores estimados de datos climáticos de registros reales e históricos a la siguiente:

$$I_n = P_{ef} - E_{Tc} \quad (4.13)$$

Los sistemas de camellones, terrazas y albarradas tienen control sobre la escorrentía (E_s), logrando su retención para el uso de los cultivos y prevención de la erosión del suelo. Esta ventaja mencionada de los sistemas de cultivo y riego tradicionales, tratan de reducir al mínimo la necesidad de irrigación artificial, en los meses que cuentan con el aporte adecuado de lluvias para satisfacer las necesidades de los cultivos.

Calculados y estimados, todos los valores necesarios para verificar las condiciones de balance hídrico agrícola para la zona, se procede a definir los valores mensuales, para determinar las necesidades de irrigación, con los cuales se podrá decidir la adición de agua de una fuente externa, en meses en los que se obtiene un balance negativo, expresado como un valor de agua para irrigación

negativo. Con el diseño de estructuras de cultivo y riego tradicional se pueden reducir las necesidades de agua para irrigación, eliminando al máximo posible las pérdidas de agua lluvia por escorrentía. Las estructuras tradicionales se diseñan por lo tanto con las formas y criterios para aprovechar todo el aporte de agua lluvia, logrando que la precipitación media de aporte por mes se pueda considerar como el aporte efectivo de agua que se puede poner a disposición de los cultivos, reteniéndola por acumulación en canales y canaletas de los camellones y terrazas respectivamente.

En el Cuadro 4.4, se presenta la relación de balance hídrico que se utiliza para determinar las necesidades de agua, si se utilizan prácticas y sistemas comunes de cultivo en la comunidad.

CUADRO 4.4: BALANCE HÍDRICO CON EL USO DE PRÁCTICAS COMUNES DE CULTIVO

Prácticas de Cultivo	Relación de Balance
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	$In = P_{ef} - ET_c$
Siembra en contornos	
Siembra en contorno y terraza	

FUENTE: Elaborador por Bolívar Erazo

Eliminando la ocurrencia de escorrentía, usando sistemas de cultivo y riego tradicional, se puede lograr el uso de toda la precipitación de aporte natural por lluvias, por lo que la relación de balance hídrico con el uso de este tipo de sistemas sería la que se presenta en el Cuadro 4.5.

CUADRO 4.5: BALANCE HIDRICO CON EL USO DE PRÁCTICAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONAL

Prácticas de Cultivo	Relación de Balance
Camellones	$In = P - ET_c$
Terrazas	

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En las relaciones de balance, no se usa el valor de almacenamiento de agua en el suelo, ya que los valores estimados provienen de una metodología que solo sirve para fines demostrativos del almacenamiento de agua que puede lograr el suelo,

no es viable usarlos en una relación de cálculo junto con valores de mayor confiabilidad, como son la precipitación y evapotranspiración.

Las prácticas de cultivo del tipo camellones y terrazas, se las considera sistemas de riego, porque logran un tipo alternativo de uso del agua de aporte natural, maximizando su acumulación, manteniendo el agua en contacto con el volumen de suelo que alberga el sistema radicular de los cultivos. Los camellones y terrazas, logran el control sobre el agua de escorrentía superficial reteniéndola con el fin de evitar su desperdicio, y más bien lograr su uso, con lo que adicionalmente se evita problemas de erosión del suelo de cultivo.

Es importante considerar, que los sistemas de riego tradicional, logran el aprovechamiento del agua de escorrentía, por lo que se puede usar la mayor cantidad de agua de oferta natural, con lo que se logra reducir las necesidades de irrigación al máximo posible. Con esto, se minimiza la necesidad de agua por aporte de fuentes externas, la cual demanda inversión en sistemas de distribución, accesorios, reservorios y demás infraestructura.

Se debe considerar, que se ha desarrollado un análisis de balance hídrico para los meses con ocurrencias de lluvias, en los cuales la comunidad tradicionalmente planifica el cultivo de maíz, papa, trigo y cebada. Para estos mismos meses en los que hay disponibilidad de agua, es conveniente desarrollar un balance hídrico para evaluar y verificar cual sería la irrigación de aporte natural, que podrían lograr los sistemas de camellones y terrazas, creando las condiciones para aprovechamiento de la escorrentía, la misma que con el uso de prácticas comunes de cultivo, se pierde superficialmente y puede tener efectos erosivos considerables. Para el caso de albarradas, no se desarrolla un balance hídrico ya que éstos sistemas se los ha considerado como controladores de erosión hídrica en parcelas, en ésta propuesta en específico, se las diseña con fines de captar escorrentía de terrenos externos a la parcela de diseño, y que ha provocado una erosión importante de un terreno en descanso, en el cual se pueden planificar el cultivo a futuro. Su ventaja importante es; la de crear las condiciones para infiltrar subterráneamente el agua que puedan captar hacia la parcela sobre la que se ubican.

En el caso de los meses de mínimas precipitaciones, que son julio y agosto, meses en los cuales, la demanda de agua para uso consuntivo de los cultivos es la mas alta, para estos meses serán más notorias las necesidades de agua, de una fuente externa y artificial diferente a la lluvia. Para éstos eventos de condiciones adversas, los sistemas de riego tradicional tendrán sus ventajas, pero a la vez sus notables limitaciones; su ventaja principal es que pueden almacenar el agua de las temporadas de lluvia antecedente, ya sea en los canales y montículos de cultivo (camellones), canaletas y plataformas de cultivo (terrazas), reservorios (albarradas); para dosificarla al suelo, en los días o temporadas siguientes con déficit de lluvias. Una vez agotada las reservas de agua, las necesidades hídricas serán inevitables, ya que dadas las condiciones climáticas de los meses secos, el suelo puede llegar al punto de marchites permanente en el cual los cultivos se marchitarían, para éste punto los sistemas tradicional no pueden lograr ninguna ventaja, ya que son básicamente sistemas de administración y acumulación hídrica, al no existir una fuente de agua, no pueden cumplir ninguna de sus funciones. Por lo tanto los sistemas tradicionales, necesitan del aporte artificial de agua en los meses secos, en los cuales resultaría una opción interesante, pensar en su funcionamiento conjunto con sistemas de riego contemporáneo que se planifique aplicar, para mantener cultivos en crecimiento aún en la época seca.

En las Tablas 4.29, se presentan los valores de balance hídrico, usando prácticas de cultivo comunes convencionales de la comunidad. Se estiman los balances, en función de los meses, en los que la comunidad planifica la siembra para coincidir intencionalmente en los meses con ocurrencia de lluvias.

4.3.1 BALANCE HÍDRICO CON EL USO DE PRÁCTICAS AGRÍCOLAS COMUNES DE LA ZONA DEL PROYECTO.

TABLAS 4.29: BALANCES HÍDRICOS PARA PRODUCTOS TRADICIONALES, USANDO PRÁCTICAS COMUNES DE CULTIVO

CULTIVO: MAÍZ

	Siembra													Cosecha							
	Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar								
Sistema de cultivo:	Precipitación Efectiva (mm/mes)																				
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	22.3		28.0		29.2		28.8		27.2		27.8		29.6								
Siembra en contornos	27.7		37.3		39.6		38.8		35.9		37.0		40.5								
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	30.1		42.4		45.4		44.3		40.6		42.0		46.6								
Cultivo:	Evapotranspiración (mm/mes)																				
Maíz	23.9	30.5	38.7	40.4	47.4	54.5	49.7	54.4	57.8	62.5	63.1	63.1	66.2	63.6	59.8	47.1	42.1	37.7	30.8	26.7	23.5
	Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																				
Sistema de cultivo:	Sep		Oct		Nov		Dic		Ene		Feb		Mar								
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	-1.6	-8.1	-16.4	-12.4	-19.5	-26.6	-20.6	-25.2	-28.7	-33.7	-34.3	-34.3	-39.0	-36.5	-32.6	-19.3	-14.3	-9.9	-1.2	3.0	6.1
Siembra en contornos	3.8	-2.8	-11.0	-3.0	-10.1	-17.2	-10.2	-14.8	-18.3	-23.7	-24.3	-24.3	-30.3	-27.7	-23.8	-10.1	-5.1	-0.6	9.6	13.8	16.9
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	6.3	-0.3	-8.6	2.0	-5.0	-12.1	-4.4	-9.0	-12.5	-18.1	-18.7	-18.7	-25.6	-23.1	-19.2	-5.1	-0.1	4.3	15.7	19.9	23.0

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVO: TRIGO O CEBADA

	Siembra															Cosecha		
	Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
Sistema de cultivo:	Precipitación Efectiva (mm/mes)																	
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	27.2			27.8			29.6			30.7			27.8			19.8		
Siembra en contornos	35.9			37.0			40.5			42.5			37.0			23.8		
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	40.6			42.0			46.6			49.3			41.9			25.5		
Cultivo:	Evapotranspiración (mm/mes)																	
Trigo/Cebada	12.9	17.4	23.1	26.6	33.2	39.9	43.9	48.6	52.8	54.0	54.5	54.0	52.6	45.6	36.0	33.5	22.6	14.6
	Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																	
Sistema de cultivo:	Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	14.3	9.8	4.1	1.2	-5.4	-12.1	-14.3	-19.0	-23.2	-23.3	-23.8	-23.3	-24.9	-17.9	-8.2	-13.6	-2.7	5.3
Siembra en contornos	23.1	18.6	12.8	10.4	3.8	-2.9	-3.5	-8.2	-12.4	-11.5	-12.1	-11.5	-15.7	-8.7	1.0	-9.7	1.2	9.2
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	27.7	23.2	17.4	15.4	8.8	2.1	2.6	-2.1	-6.2	-4.7	-5.2	-4.7	-10.7	-3.7	5.9	-8.0	2.9	10.9

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVO: PAPA

	Siembra																		Cosecha		
	Dic			Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
Sistema de cultivo:	Precipitación Efectiva (mm/mes)																				
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	28.8			27.2			27.8			29.6			30.7			27.8			19.8		
Siembra en contornos	38.8			35.9			37.0			40.5			42.5			37.0			23.8		
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	44.3			40.6			42.0			46.6			49.3			41.9			25.5		
Cultivo:	Evapotranspiración (mm/mes)																				
Papa	21.6	24.6	28.2	34.7	39.2	44.4	42.6	47.1	50.9	50.7	52.8	53.8	54.5	54.5	53.5	53.7	50.5	46.2	56.8	51.7	47.3
	Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																				
Sistema de cultivo:	Dic			Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
Siembra en surcos rectos en dirección de la pendiente	22.7	19.7	16.1	-7.5	-12.0	-17.2	-14.8	-19.3	-23.2	-21.1	-23.2	-24.2	-23.8	-23.8	-22.8	-25.9	-22.7	-18.4	-36.9	-31.8	-27.5
Siembra en contornos	17.2	14.2	10.6	1.2	-3.3	-8.4	-5.6	-10.1	-13.9	-13.7	-15.8	-16.8	-12.1	-12.1	-11.0	-16.7	-13.5	-9.2	-33.0	-27.9	-23.5
Siembra en contorno en pequeñas terrazas	22.7	19.7	16.1	5.9	1.4	-3.8	-0.6	-5.1	-9.0	-4.2	-6.2	-7.3	-5.2	-5.2	-4.2	-11.8	-8.5	-4.3	-31.3	-26.2	-21.9

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Nota: Los valores negativos representan un déficit hídrico, del cual una cantidad importante puede ser suplida usando los sistemas de camellones y terrazas que se proponen. Si aún persiste el déficit sería necesaria la aplicación de prácticas de riego adicionales.

4.3.2 BALANCE HÍDRICO CON EL USO DE SISTEMAS DE RIEGO DEL TIPO CAMELLONES Y TERRAZAS.

Los valores de balance hídrico que se alcanzarían con el uso de sistemas de riego tradicional, del tipo camellones y terrazas, se representan con los valores de Irrigación de aporte natural de agua (I_n) en mm/mes, valores con los que se constata que los déficit de agua (valores negativos), que se presentan usando los sistemas de cultivo comunes, se pueden reducir considerablemente, si se usan sistemas tradicionales, que logran aprovechar el agua que los sistemas comunes la pierden por escorrentía superficial.

Se debe tener en cuenta que los camellones en su diseño, conciben canales de captación y acumulación de excesos de agua, por lo que estos sistemas tienen el potencial y capacidad para captar el 100% del promedio del agua lluvia de la zona. En cambio las estructuras de terrazas, pueden resultar menos efectivas que los camellones en la captación de escorrentía, por lo que una cierta cantidad de agua aún se podría perder por escorrentía. Por eso se diseña un sistema conjunto de terrazas y camellones en los cuales se capte toda el agua de lluvia, usando la posible escorrentía que aún podrían generar las terrazas y pueda usarse en los camellones, ésta alternativa resulta viable, porque las parcelas indentificadas como idóneas para aplicación de la propuesta de camellones y terrazas, resultan ser parcelas continuas y unidas.

En las Tablas 4.30, se presentan los balances hídricos, que se tendrían usando sistemas de camellones y/o terrazas, representados por el valor de irrigación de aporte natural (I_n), para los cultivos de maíz, trigo, cebada y papa.

En los Gráficos 4.19, se representan los resultados de balance hídrico, obtenidos con los actuales sistemas de cultivo que utiliza la comunidad y los sistemas tradicionales que se proponen, con cual se releva los segundos como los capaces de reducir al mínimo posible los déficit de agua en el ciclo de desarrollo, desde la siembra hasta la cosecha de los cultivos de maíz, trigo, cebada y papas.

TABLAS 4.30: BALANCE HÍDRICO PARA PRÁCTICAS DE CULTIVO EN CAMELLONES Y TERRAZAS

CULTIVO: MAÍZ

		Siembra																		Cosecha		
		Sep			Oct			Nov			Dic			Ene			Feb			Mar		
		Precipitación potencial acumulable (mm/mes)																				
		34.6			60.5			69.1			66.0			55.8			59.4			72.9		
Cultivo:		Evapotranspiración (mm/mes)																				
Maíz		23.9	30.5	38.7	40.4	47.4	54.5	49.7	54.4	57.8	62.5	63.1	63.1	66.2	63.6	59.8	47.1	42.1	37.7	30.8	26.7	23.5
		Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																				
Sistema de cultivo:		Sep			Oct			Nov			Dic			Ene			Feb			Mar		
Camellones/Terrazas		10.7	4.1	-4.1	20.1	13.1	6.0	19.4	14.7	11.3	3.5	2.9	2.9	-10.4	-7.8	-4.0	12.3	17.3	21.7	42.1	46.2	49.4

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVO: TRIGO O CEBADA

		Siembra															Cosecha			
		Ene		Feb			Mar			Abr			May				Jun			
		Precipitación potencial acumulable (mm/mes)																		
		55.8		59.4			72.9			82.6			59.2				27.5			
Cultivo:		Evapotranspiración (mm/mes)																		
Trigo/Cebada		12.9	17.4	23.1	26.6	33.2	39.9	43.9	48.6	52.8	54.0	54.5	54.0	52.6	45.6	36.0	33.5	22.6	14.6	
		Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																		
Sistema de cultivo:		Ene		Feb			Mar			Abr			May				Jun			
Camellones/Terrazas		42.9	38.4	32.7	32.8	26.2	19.5	29.0	24.3	20.1	28.6	28.1	28.6	6.6	13.6	23.2	-6.0	4.9	12.9	

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVO: PAPA

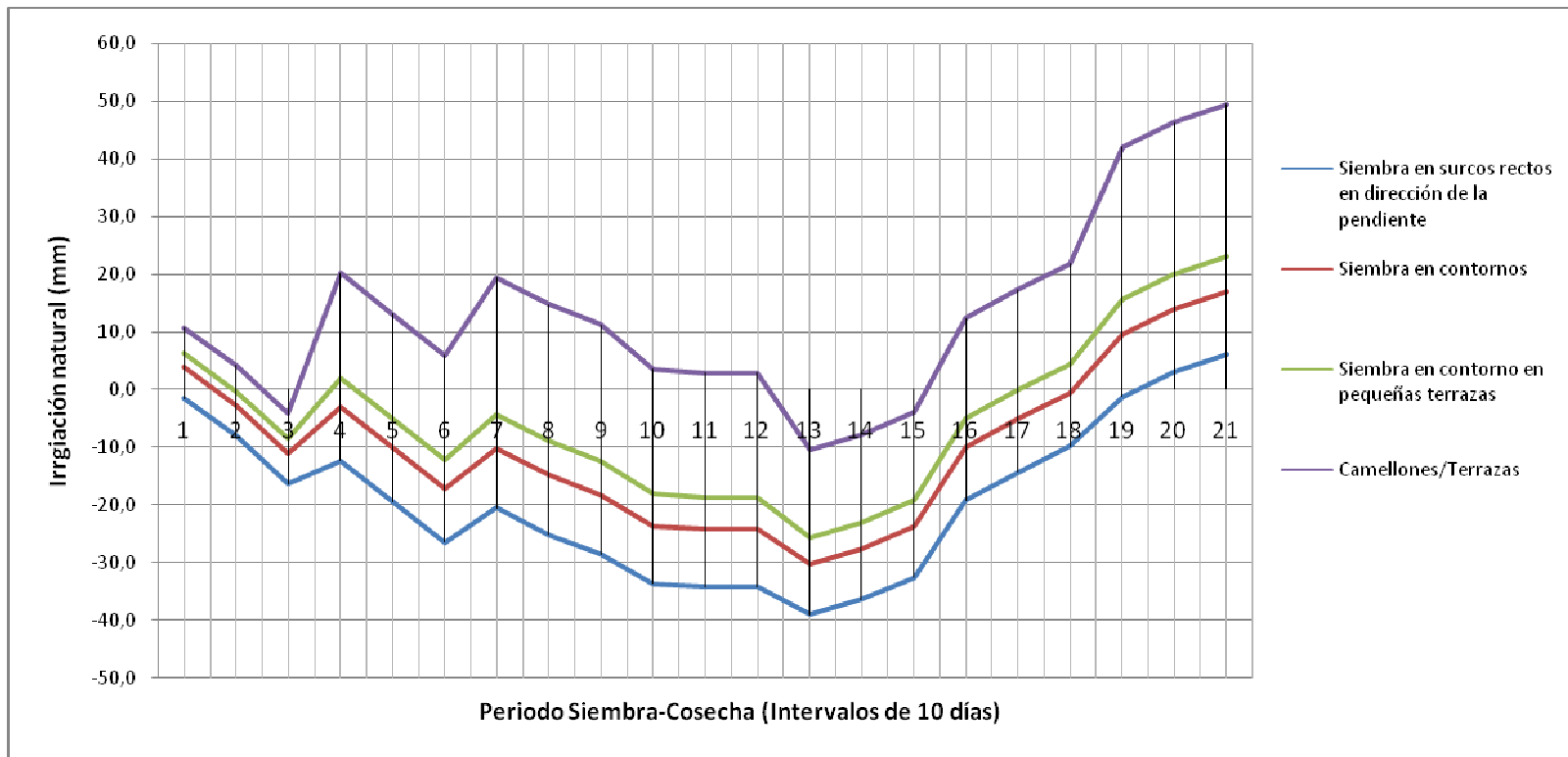
	Siembra																		Cosecha		
	Dic			Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
	Precipitación potencial acumulable (mm/mes)																				
	66.0			55.8			59.4			72.9			82.6			59.2			27.5		
Cultivo:	Evapotranspiración (mm/mes)																				
Papa	21.6	24.6	28.2	34.7	39.2	44.4	42.6	47.1	50.9	50.7	52.8	53.8	54.5	54.5	53.5	53.7	50.5	46.2	56.8	51.7	47.3
	Irrigación de aporte natural (In) (mm/mes)																				
Sistema de cultivo:	Dic			Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun		
Camellones/Terrazas	44.4	41.4	37.8	21.1	16.6	11.4	16.8	12.3	8.5	22.2	20.1	19.1	28.1	28.1	29.1	5.5	8.7	13.0	-29.3	-24.2	-19.8

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Nota: Todos los valores negativos, representan un déficit hídrico que necesitaría ser suplido por adición de agua de riego de manera artificial.

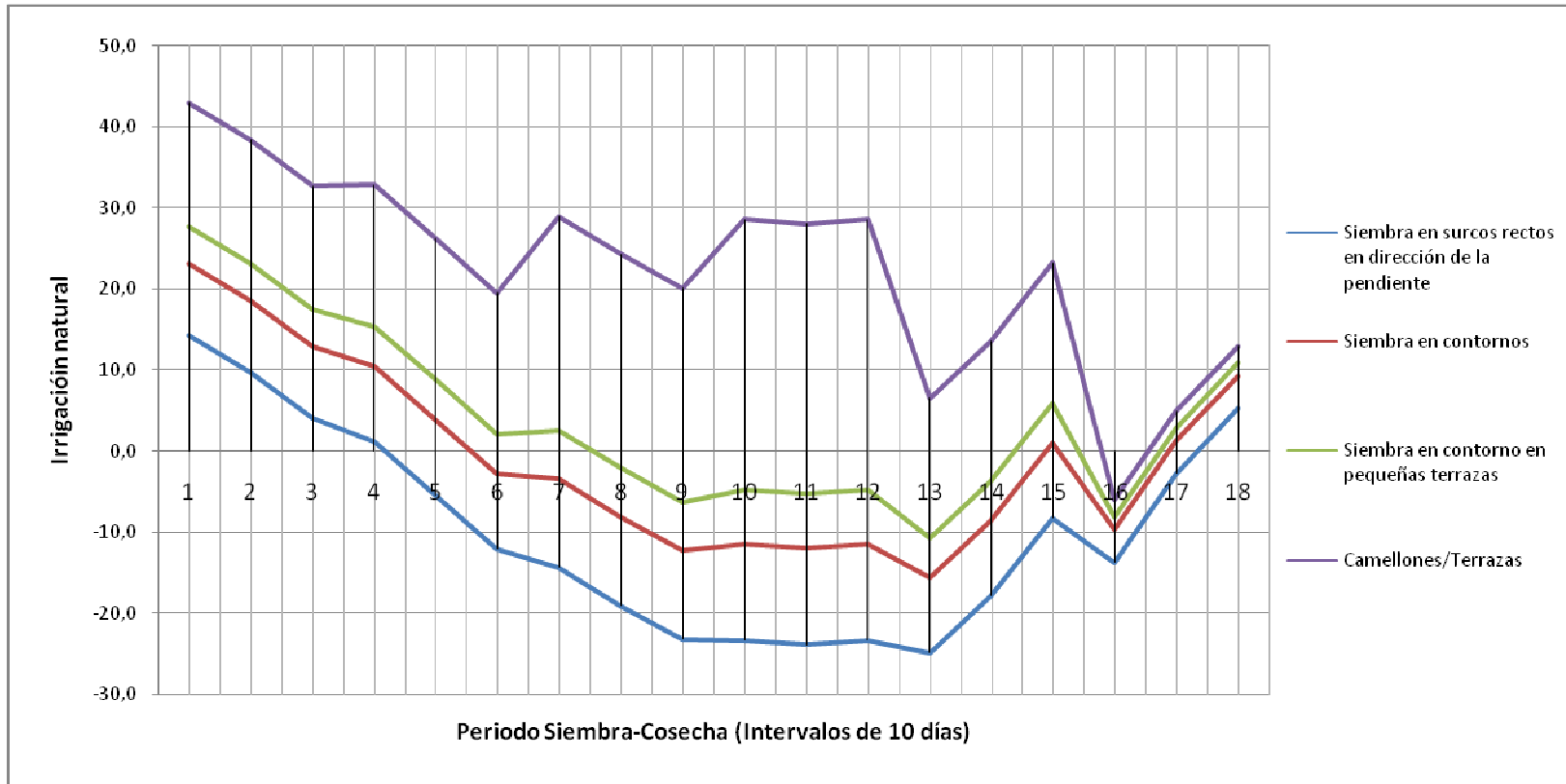
GRAFICOS 4.19: RESULTADOS DE BALANCE HIDRICO DE SISTEMAS COMUNES DE SIEMBRA, COMPARADOS CON LOS SISTEMAS DE CAMELLONES Y TERRAZAS

CULTIVO: MAÍZ



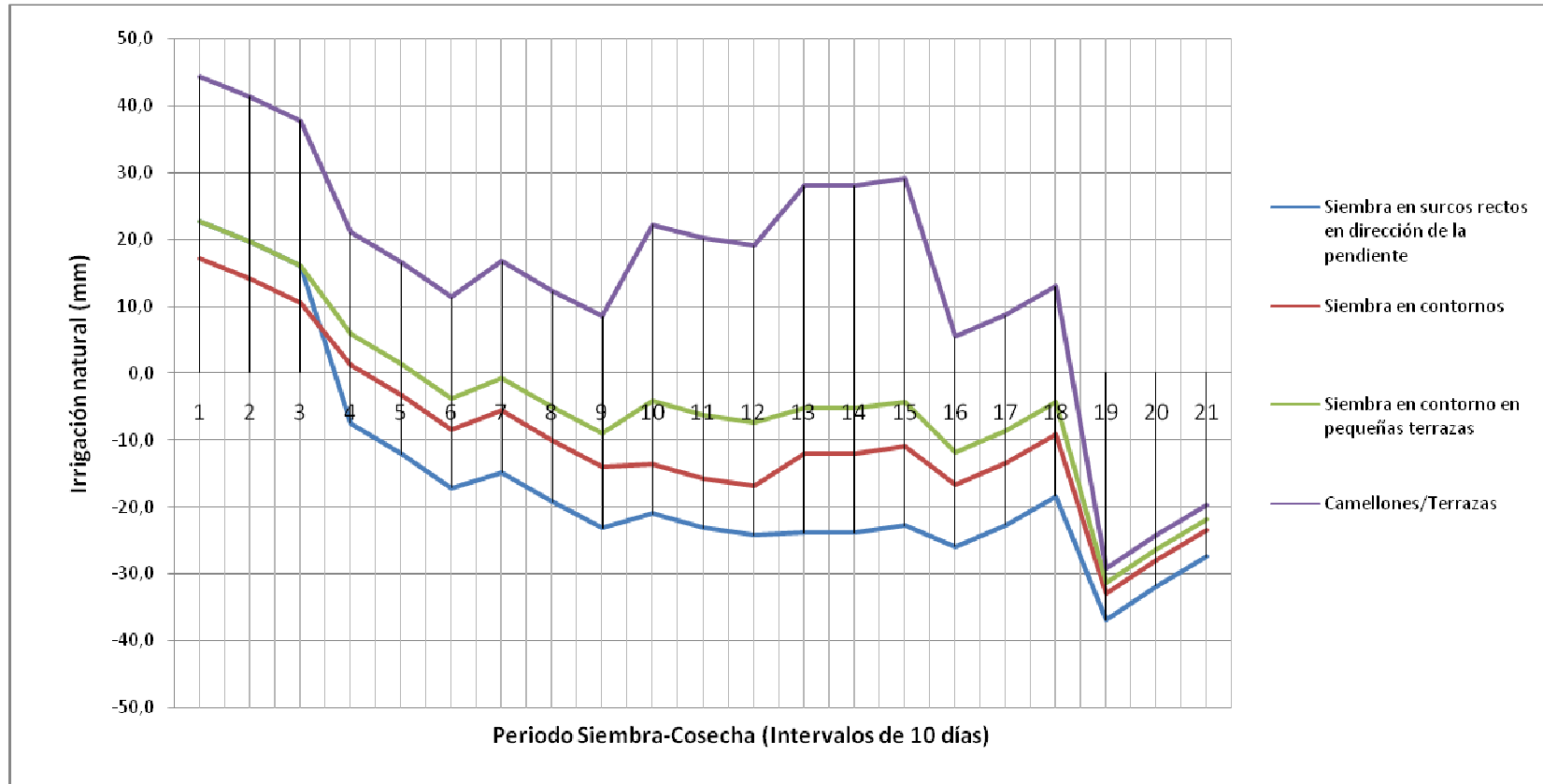
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVOS: TRIGO O CEBADA



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CULTIVO: PAPA



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CAPITULO 5

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CULTIVO Y RIEGO TRADICIONAL PARA USO EFICIENTE DEL AGUA DE LLUVIA

Se necesita alcanzar condiciones favorables de retención de agua de lluvia o de irrigación por infiltración en el suelo, logrando diseños de sistemas que mantengan altas cantidades de agua disponible, y temporalmente almacenada, es el objetivo que se puede alcanzar usando las estructuras de riego tradicional. Justamente los criterios analizados de los sistemas en cuestión, dan el suficiente sustento para potenciar sus ventajas hídricas, proponiendo diseños y propuestas específicas para aplicación en la zona del estudio.

En el diseño de estructuras de riego tradicional, se debe lograr el adecuado uso del agua, para lo cual, el primer paso es definir el dimensionamiento de las estructuras, considerando las láminas de intensidad de lluvias para la zona, para lograr que las estructuras de cultivo y riego puedan captar toda el agua de los eventos de considerables precipitaciones. Con los valores de intensidad de lluvia, se pueden proponer las dimensiones adecuadas de los canales en camellones y canaletas en las plataformas de las terrazas, para que tengan la capacidad efectiva de receptor y controlar la esorrentía aún en los eventos de alta intensidad.

5.1 IDENTIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN PARA LA ZONA.

Los valores de intensidad de precipitación, se pueden obtener de la zonificación de intensidades de lluvia, desarrollado por el departamento de hidrometría de Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI.

Para obtener las láminas de intensidad de lluvia, se identifica la zona en la que se ubica el proyecto, para la cual están definidas las ecuaciones de intensidad de lluvia en función del tiempo de duración de lluvia y de los valores de intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h, este último valor se lo obtiene de los mapas de isolíneas de intensidades de precipitación, para varios periodos de retorno en función de la máxima en 24 horas.

Es importante obtener los valores de intensidad de precipitación, para proponer un dimensionamiento adecuado de las estructuras de riego tradicional, para que logren acumular el agua de eventos de lluvia intensa para infiltrarla, conducirla y distribuirla de manera efectiva en las zonas cultivadas. Con los diseños que se proponen se pretende alcanzar un completo uso del agua, minimizando las pérdidas y los efectos erosivos del agua de escorrentía, en especial la que se generaría en terrenos de alta pendiente.

CALCULO DE VALORES DE INTENSIDAD PARA LA ZONA DEL PROYECTO.

La zona del proyecto según mapa de zonificación de intensidades de precipitación, corresponde a la zona 16.

TABLA 5.1: ECUACIONES REPRESENTATIVAS DE LA ZONA 16

DURACIÓN	ECUACIÓN
5 min - 25 min	$I_{TR} = 76.946t^{0.4583} I_{dTR}$
25min - 1440 min	$I_{TR} = 174.47t^{0.7143} I_{dTR}$

FUENTE: Análisis de Lluvias Intensas. INAMHI, 1999

Donde:

- I_{TR} : Intensidad de precipitación para cualquier período de retorno en mm/h.
- I_{dTR} : Intensidad diaria para un período de retorno dado en mm/h.

Para los fines del proyecto, se calculan los valores de intensidad diaria de precipitación para periodos de retorno de 5 y 10 años que se presentan en la Tabla 5.3, en base a los valores de los mapas de isolíneas de intensidades de precipitación en función de la máxima en 24 horas. Los valores que pueden servir

para el diseño de estructuras de riego tradicional, son los datos definidos para un periodo de retorno de 5 años, ya que las estructuras que se proponen, no tendrían una vida útil muy extensa mayor a 5 años, ya que cada cierto tiempo es necesario el arado, rediseño o simplemente su reconstrucción si las estructuras como se proponen han dado resultados importantes y satisfactorios.

TABLA 5.2: VALORES DE $I_{d_{TR}}$

Periodo de retorno	$I_{d_{TR}}$
5 años	1,8
10 años	2,4

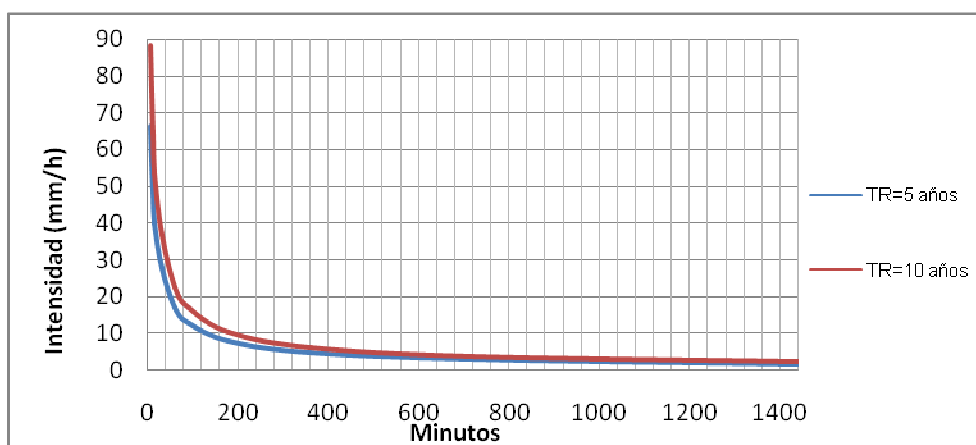
FUENTE: Mapa de Isolíneas de Intensidades de precipitación. INAMHI, 1999

TABLA 5.3: INTENSIDAD DE LLUVIA EN mm/h DURACIÓN 24 HORAS, ZONA 16

T_R	Duración (Min)									
	5	10	15	30	60	90	180	360	720	1440
5	66.24	48.21	40.04	27.66	16.86	12.62	7.69	4.69	2.86	1.74
10	88.32	64.28	53.38	36.88	22.48	16.83	10.26	6.25	3.81	2.32

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

GRÁFICO 5.1: INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN



FUENTE: Análisis de lluvias intensas. INAMHI, 1999

En la Tabla 5.4, se presenta los valores de precipitación acumulada, calculadas de las intensidades de precipitación y periodo de retorno de 5 años de la Tabla 5.3.

TABLA 5.4: PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN 24 HORAS, ZONA 16

	Duración (Min)									
	5	10	15	30	60	90	180	360	720	1440
Horas	0.08	0.17	0.25	0.5	1.0	1.5	3.0	6.0	12.0	24.0
Intensidad (mm/h)	66.24	48.21	40.04	27.66	16.86	12.62	7.69	4.69	2.86	1.74
Precip acumulada (mm)	5.52	8.04	10.01	13.83	16.86	18.93	23.08	28.13	34.29	41.80

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Se utiliza como lluvia de diseño, el valor de precipitación acumulable en 24 horas. Por lo que el valor de utilidad resulta ser **41.8 mm**.

5.2 TASA DE INFILTRACIÓN EN EL SUELO DE LA ZONA.

Para determinar el valor de infiltración en el suelo de las parcelas de interés se ha tomado una muestra de suelo, la cual se ha sometido a una prueba de infiltración. La muestra se seca completamente a exposición del sol por algunos días, se la introduce en un tubo de PVC de 3 pulgadas para lograr una altura mayor a 30 cm para simular la profundidad promedio que pueden alcanzar las raíces, se ubica un filtro de tela en su extremo para sostener la muestra dentro del tubo. Se adiciona un volumen de agua adecuado, hasta lograr que el suelo se humedezca por completo e inicie la infiltración. Se recolecta el agua infiltrada, hasta constatar que la infiltración se detenga, en este punto el suelo se encontrará a capacidad de campo.

Con el valor de lluvia de diseño, se calcula el volumen que se debe adicionar a la muestra dentro del tubo, para lograr los 41,8 mm de adición de agua, con lo que se simularía las lluvias acumulables en 24 horas. Se toma el tiempo desde la adición del volumen de agua calculado, y se recolecta el agua infiltrada en un recipiente. Luego de 24 horas se mide el agua infiltrada, para obtener la tasa de infiltración del suelo.

Se obtiene un valor de 1,37 mm/h, valor que representa la tasa de infiltración en un suelo que no tendría ninguna pérdida de agua por escorrentía superficial.

5.3 CONSTRUCCIÓN DE CAMELLONES PARA CULTIVO Y MANEJO DEL AGUA DE OFERTA NATURAL.

Se propone la construcción de camellones en la parcela identificada y de la cual se han levantado sus dimensiones. Las medidas de los canales de acumulación de agua lluvia, se pueden sugerir en función del valor de precipitación acumulable en 24 horas, que se obtiene del valor de intensidad al tiempo mencionado y un período de retorno de 5 años. Con lo que se logra el dimensionamiento adecuado de canales que pueden asegurar la captación de toda el agua de lluvia dentro de la parcela, para mantener acumulados los excesos en los canales perimetrales, que delimitarían los montículos de siembra, minimizando las pérdidas de agua por escorrentía y eliminando el acarreo del suelo superficial fuera de los límites de la parcela. Con el diseño logrado en función de la potencial acumulación de lluvia, se justifica como válidos los valores de balance hídrico con uso de sistemas de riego tradicional, que usan todo el aporte natural de los meses de lluvia, sin la ocurrencia de escorrentía.

Las mayores dimensiones de elevación y ancho de camellones en comparación con el promedio de surcos comunes, es para permitir el aprovechamiento agrícola del agua de escorrentía de cada montículo de siembra y de la lluvia, que puede ser acumulada en los canales. De esta manera, el agua puede tener contacto con el perfil de suelo de cada camellón, para proveerlo de agua por infiltración lateral desde el lugar de saturación (canales), hacia el suelo sembrado (camellones), que son los que proveen de agua a los cultivos para suplir sus necesidades de crecimiento.

Es importante considerar, que el agua captada en canales, puede ser una reserva de humedad, que puede utilizar el suelo para mantenerse húmedo en los días iniciales de la época seca, y permitir extender la etapa de cosecha de los cultivos, conforme los efectos del déficit de lluvia de la época seca, empiezan a manifestarse.

Se propone el diseño de varios camellones de prueba, construidos en la parcela en diferentes dimensiones y posiciones, con el objetivo de verificar resultados,

que tipo de camellones pueden lograr el mejor desarrollo de los cultivos y las mayores producciones. Identificados los resultados, se puede decidir en el siguiente ciclo productivo, el uso de los camellones que han generado los mejores resultados.

Las dimensiones particulares de camellones históricos son muy variables, por lo que es adecuado usar una adaptación de medidas para el presente diseño. Se eligen las dimensiones de montículos de siembra en función del tamaño, espacio disponible y forma de la parcela, en donde planifica construir el sistema de camellones. Las dimensiones de canales, estarán en función de la intensidad de precipitaciones como se lo ha planificado.

La parcela para la cual se diseña la propuesta, también cuenta con una zona de alta pendiente, para la cual se propone la construcción de terrazas de siembra. Por esta característica del terreno se planifica un diseño de terrazas y camellones en la misma parcela que se muestra en la Fotografía 5.1.

FOTOGRAFÍA 5.1: TERRENO PARA PROPUESTA DE TERRAZAS Y CAMELLONES



FUENTE: Visita de Campo, 2008

5.3.1 PROPUESTA DE DISEÑO DE CAMELLONES.

Con la lámina de intensidad de precipitación acumulada en 24 horas, se calcula el máximo volumen de agua que se genera dentro de los límites de la parcela, para éste volumen de agua se calcula las dimensiones de ancho, alto y largo de canales que puedan captar efectivamente el volumen de precipitación prevista.

Se proponen 6 tipos de disposiciones y formas de camellones en una misma parcela, con las características que se indican en la Tabla 5.5.

DIMENSIONES PROPUESTAS PARA DISEÑO.

Se calcula el volumen potencial de agua de lluvia que se puede generar dentro de los límites de la parcela, con la ocurrencia de la intensidad de precipitación en 24 horas.

- Altura de agua con intensidad de duración 24 horas = 41.8 mm
- Área de la parcela = 1352 m²

Por lo tanto el volumen de agua, que los canales deben tener la capacidad de captar es de **56.5 m³**.

Se proponen las siguientes dimensiones de camellones para el cultivo y de canales con la capacidad de captar el volumen de agua calculado.

- Ancho de camellones = 3 m
- Área transversal de canales (ancho x altura) = 0,3 x 0,3 m

En función de las dimensiones levantadas en la parcela identificada para la propuesta de construcción y uso de camellones, se propone la distribución y arreglos de los diferentes tipos de camellones, como se muestra en la Figura 5.1 y Figura 5.2.

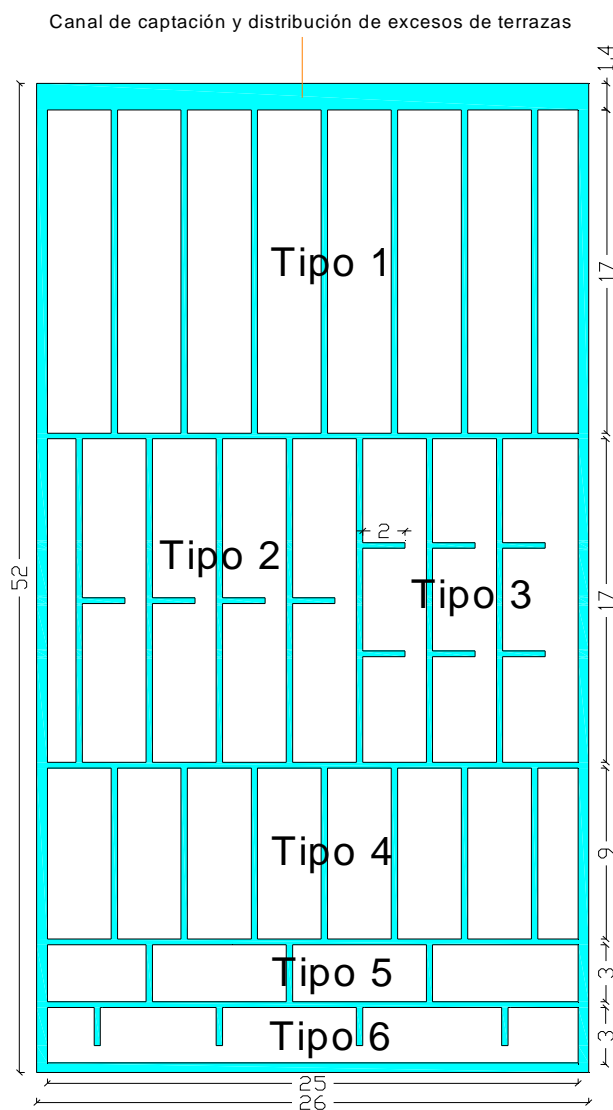
TABLA 5.5: TIPOS DE CAMELLONES PROPUESTOS PARA CONSTRUCCIÓN

	CAMELLONES					
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6
Largo (m)	17	17	17	9	6.3	25
Dirección	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal
Característica	Montículos alargados	Montículos alargados con 1 canal entrante intermedio	Montículos alargados con 2 canales entrantes	Relación largo:ancho (3:1)	Relación largo:ancho (2:1)	Muy largos con 4 canales entrantes

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

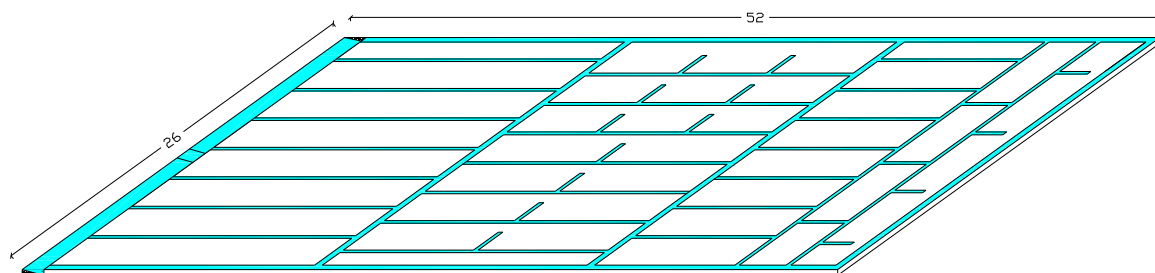
FIGURA 5.1: TIPOS DE CAMELLONES DISTRIBUIDOS EN LA PARCELA

Vista en Planta



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

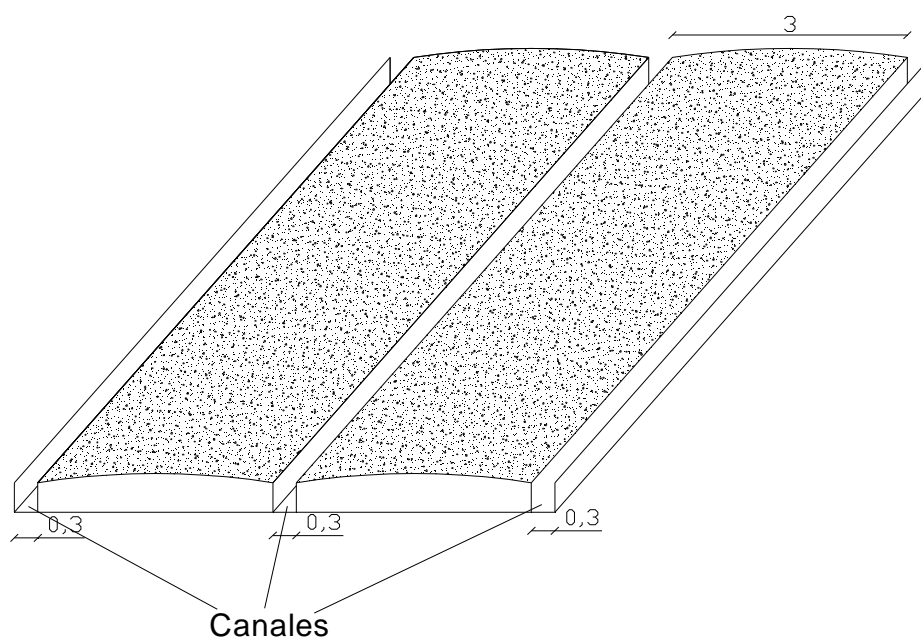
FIGURA 5.2: VISTA APRECIATIVA DE DISTRIBUCIÓN DE CAMELONES



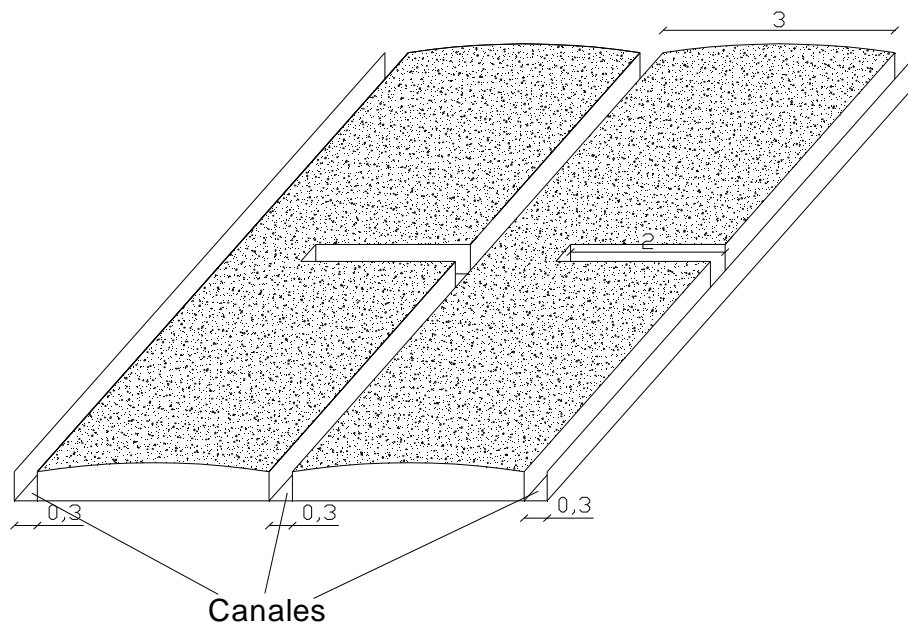
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

En las Figuras 5.3 y 5.4, se muestran los camellones propuestos para construcción, los primeros son camellones con montículos de siembra continuos, los que únicamente pueden recibir el agua que circula perimetralmente, los segundos son camellones con canal entrante, con lo que se pretende mantener una mejor irrigación de los montículos de siembra.

FIGURA 5.3: CAMELONES DE SIEMBRA DE MONTICULOS CONTINUOS



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

FIGURA 5.4: CAMELLONES DE SIEMBRA CON CANAL ENTRANTE

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

PROFUNDIDAD DE CANALES PARA CAPTACIÓN DE AGUA.

Se determina que las dimensiones adecuadas de canales, en ancho y altura deberían ser de 0.3 x 0.3 m, además, se propone un ancho de 0.5 m para los canales perimetrales, por cuanto en el perímetro de la parcela puede ingresar escorrentía de las parcelas vecinas. Los canales de los camellones internos de la parcela, se han diseñado con un ancho de 0.3 m, espacio adecuado para realizar la limpieza de canales con las herramientas convencionales como azadones y palas. Además se propone implementar un canal inclinado en la cabecera de la parcela, el cual servirá para la captación y distribución de los excesos de agua que provengan del terreno de terrazas.

Para comprobar que las dimensiones de canales propuestas, son las adecuadas para capturar todo el volumen de aporte natural de agua lluvia, se determina la longitud total de todos los canales, de ancho 0.3 m y 0.5 m para calcular todo el volumen en conjunto que pueden albergar. Esta información se la presenta en la Tabla 5.6.

TABLA 5.6: VOLUMEN TOTAL DE CANALES EN PARCELA CON CAMELLONES

Tipo Canales	Profundidad	Ancho	Longitud	Volumen
	(m)	(m)	(m)	(m ³)
1	0.3	0.3	438	39.42
2	0.3	0.5	125	18.75
Volumen Total				58.17

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Es notable que el volumen total calculado de canales, es mayor que el volumen de agua de lluvia que puede ocurrir con una diferencia de 1.67 m³, resulta adecuado ya que se tiene un volumen de seguridad en los canales, que permitirá un efectivo control del agua, aún si la intensidad de lluvia que ocurre es mayor que la prevista para el diseño.

Considerando que en la cabecera del sistema de camellones, se cuenta con un canal de captación y distribución de los excesos provenientes del sistema de terrazas, éste canal también tendrá la función de captar los excesos de agua que puedan ingresar de la escorrentía de las parcelas vecinas. El canal es de sección transversal triangular, con una rampa inclinada para inducir la conducción del agua que ingrese a este canal, hacia los canales de los camellones. El máximo volumen de agua que puede albergar temporalmente este canal, es de aproximadamente 5.5 m³.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

El volumen del canal de captación y distribución de excesos, se puede usar para aplicar riego en la época seca, por medio de mangueras que se pueden conectar al sistema de distribución de agua que proviene desde los reservorios construidos para proveer de agua a la comunidad en la época de escasas lluvias. Para la planificación de adición de agua a las parcelas, si se ha planificado el cultivo para los meses de la época seca, se deberá calcular el volumen de irrigación artificial,

en función de los valores negativos de Irrigación de Aporte Natural (In) que se calculen.

Si se planifica aplicar irrigación por aspersión en camellones, se deben ubicar los aspersores de tal manera que el radio de riego cubra toda la parcela, para éste caso, los canales de captación de agua funcionarían redistribuyendo el agua de escorrentía superficial de cada camellón para infiltrara a los montículos de cultivo. Si se planifica la irrigación de camellones, en la época seca, usando una conexión directa con manguera o tubería conectada a la conducción principal del reservorio N° 1, se propone colocar esta manguera o tubería con perforaciones a lo largo del canal de distribución de excesos de agua, para que se pueda irrigar todo el sistema usando los canales.

Para crear las condiciones en las que el agua acumulada en los canales, se infiltre lateralmente hacia los montículos de siembra (camellones), es necesaria la compactación manual del piso de los canales en los que circularía el agua. El piso compactado, necesita un recubrimiento con plástico ordinario de largo periodo de duración. La otra alternativa menos viable, es el recubrimiento del piso de los canales con piedra, pero en este caso la infiltración vertical puede ser aun predominante y perderse profundamente fuera del alcance de las raíces de los cultivos. La alternativa de mejores resultados puede ser definitivamente el recubrimiento de la sección del piso de canales con plástico, ya que el plástico puede frenar considerablemente la infiltración vertical y crear las mejores condiciones para que el agua se infiltre lateralmente hacia los montículos sobre los que crecen los cultivos.

Es recomendable, evitar zonas de encharcamiento en los montículos de cultivo, por lo que es recomendable que tengan una forma convexa ligera, para crear las condiciones óptimas con el fin de que los excesos de agua de los montículos, se dirijan a los canales de agua que rodean cada montículo.

Se debe considerar, que los canales necesitarían un mantenimiento y reconstrucción después de cada cosecha, y aún más necesario si en éstos camellones se ha sembrado papa o cualquier otro cultivo del tipo tubérculos, ya

que la cosecha de éste tipo de cultivos representa una destrucción considerable de los montículos de cultivo, que a la vez dañaría los canales de conducción de agua. Cada período de cosecha, se aconseja la limpieza y uso del material acumulado en los canales para colocarlos sobre los montículos de siembra, como un tipo de abono alternativo del cual se debería evaluar sus resultados.

5.4 CONSTRUCCIÓN DE TERRAZAS PARA MANEJO DEL AGUA DE OFERTA NATURAL.

Para el diseño de terrazas, se usa el mismo criterio de diseño que en camellones, el cual es lograr la captación del agua de precipitaciones y evitar su flujo superficial como escorrentía. Para el caso de terrenos de considerables pendientes, resulta más determinante el control del agua de precipitación, para prevenir el problema de la erosión del suelo. Con el sistema de terrazas se puede alcanzar un diseño adecuado que cumpla el objetivo propuesto, se propone la construcción de andenes o plataformas de siembra, cada uno de los cuales cuenta con un canaleta de captación de los excesos de agua, tanto del aporte de lluvias, como de la posible escorrentía generada de las plataformas anteriores a mayor altura.

Se contará con un canal captador de agua en la cabecera de las terrazas, que controlará la posible escorrentía generada de las parcelas de mayor altura, la cual sin control ocasionaría un volumen de agua mayor que el previsto para el diseño, lo que puede ocasionar un exceso de agua inadecuado en la parcela. Además, se tiene en cuenta, que en la parcela identificada para la potencial aplicación de terrazas, puede ser usada en conjunto, con la parcela en la que se propone el diseño de camellones, ya que se ubican juntas y continuas, por lo que se debe tener en cuenta esta consideración para un diseño conjunto de los dos sistemas.

5.4.1 PROPUESTA DE DISEÑO DE TERRAZAS.

Se tomaron las medidas; de ancho, largo y diferencia de altura de la parcela para diseño de la propuesta; las dimensiones superficiales se han determinado por

medición directa con cinta graduada, la diferencia de altura y pendiente, en base a registros de puntos GPS, tomados en la parte más alta y más baja de la parcela. Con las dimensiones obtenidas, se pueden definir el número y dimensiones de las plataformas que se podrían construir en el terreno.

Los valores de intensidad de lluvia, sirven para el diseño de las dimensiones de las canaletas de captación, que se ubicarán en la cabecera de cada plataforma que se construya. El agua captada en las canaletas, puede proveer humedad a cada andén sembrado, por infiltración, además captar los excesos y la escorrentía que se pueda generar de los andenes de siembra inmediatamente anteriores.

DIMENSIONAMIENTO DE PLATAFORMAS PARA CULTIVO.

Para el diseño de terrazas, que puedan captar y retener todo el volumen de agua lluvia, se propone construir 40 andenes o plataformas de cultivo de 11 x 1.1 metros (largo x ancho); 20 plataformas de cada lado, cada una contará con una canaleta de captación de agua en su cabecera. Para fines de accesibilidad para la siembra, mantenimiento y cosecha en las terrazas, se propone un camino de acceso en medio de la parcela de 0.6 metros de ancho. Además, se propone la construcción de dos canales cerrados en la cabecera o parte superior de la parcela, que sirva para captar el agua de escorrentía superficial que se genere de las áreas de pastizales y bosques de eucalipto de la zona inmediatamente más alta.

Considerando que para éste caso en específico, se desarrolla un diseño conjunto de terrazas y camellones, se proponen 4 canales laterales inclinados y verticales para captación de posible escorrentía de las plataformas de cultivo, y conducirla hacia el canal de cabecera del sistema de camellones, que tiene la función específica de captar y distribuir los excesos de agua del sistema de terrazas, para el uso del sistema de camellones.

DIMENSIONAMIENTO DE CANALETAS PARA CAPTACIÓN DE AGUA.

Las canaletas se diseñan para captar el volumen de lluvia, con intensidad de duración de 24 horas, prevista también para diseñar los canales de camellones; cada plataforma de cultivo cuenta con una canaleta centrada, ubicada en su cabecera. Sus funciones principales serán, captar el agua de escorrentía que se genera de la misma plataforma en la que se ubican y la escorrentía que se podría generar de las plataformas inmediatamente anteriores.

El volumen de agua, que deben captar las canaletas, se obtiene de la lámina de lluvia de diseño y del área de captación de cada plataforma de cultivo.

- Altura de agua con intensidad de duración 24 horas = 41.8 mm
- Área de cada plataforma de cultivo = 12.1 m²

Por lo tanto, el volumen de agua, que cada canaleta debe tener la capacidad de captar, es de **0.51 m³**.

En la Tabla 5.7, se presentan las dimensiones propuestas para canaletas, que tendrán la capacidad de captar el volumen de agua estimado.

TABLA 5.7: DIMENSIONES DE CANALETAS DEL SISTEMA DE TERRAZAS

Volumen de lluvia (m³)	0.51
Dimensiones canaletas (m):	
Largo	9
Ancho	0.2
Altura	0.3
Volumen de canaletas (m³)	0.54

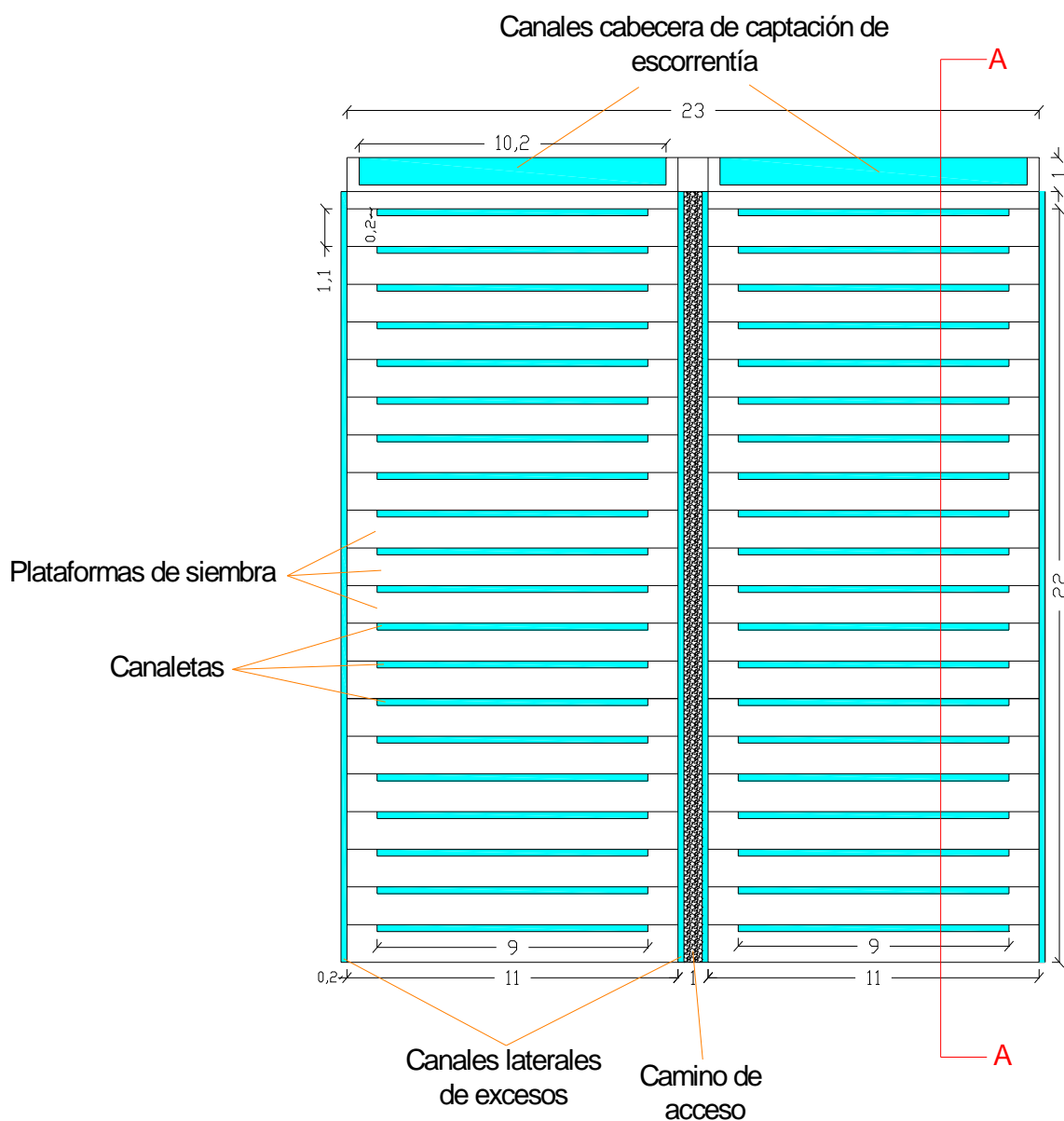
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

Se puede notar que con las dimensiones de canaletas propuestas, éstas pueden captar adecuadamente el volumen de agua que puede generar cada plataforma de cultivo, además con un volumen de seguridad del 5 % del volumen de ocurrencia de lluvia previsto para el diseño.

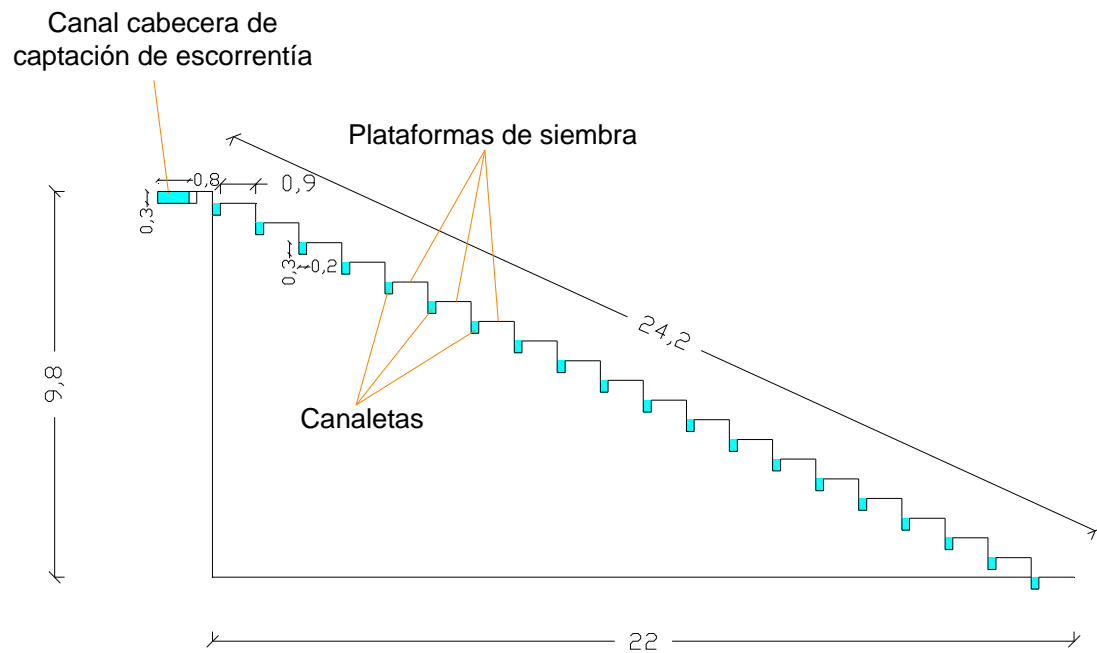
En la Figura 5.5, se presenta gráficamente el diseño general que se propone, se presentan las vistas en planta y corte para apreciar completamente el sistema.

FIGURA 5.5: PLATAFORMAS Y CANALETAS DEL SISTEMA DE CULTIVO EN TERRAZAS

VISTA EN PLANTA



VISTA DEL CORTE A-A



FUENTE: Elaborador por Bolívar Erazo

FOTOGRAFÍA 5.2: TERRENO PARA PROPUESTA DE USO DE TERRAZAS



FUENTE: Visita de Campo, 2008

CONTROL DE EXCESOS DE AGUA.

En el sistema de terrazas, se ha previsto la construcción de un canal cerrado de cabecera sobre cada sección de 20 plataformas de cultivo, en los que se pueda captar la escorrentía que se genere de los terrenos ubicados por arriba de la parcela. El volumen de agua que pueden captar estos dos canales cabecera, acorde a sus dimensiones, se los presenta en Tabla 5.8.

TABLA 5.8: DIMENSIONES Y VOLUMEN DE CAPTACIÓN DE CANALES CABECERA

Dimensiones canales cabecera (m):	
Largo	10.2
Ancho	0.8
Altura	0.3
Volumen de canales cabecera (m³)	
Volumen de captación	2.45
Volumen total de captación (2 canales)	4.9

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

Para la construcción de los andenes de cultivo, es necesaria la extracción de un considerable volumen de suelo, para lograr suavizar la pendiente y poder conformar cada plataforma de cultivo. La opción para el uso de este volumen de suelo, puede ser para nivelar el terreno para el que se ha diseñado la propuesta de construcción de camellones, para lograr una pendiente cero.

Se debe tener en cuenta, que en la extracción del suelo para conformar las plataformas de cultivo, se obtendrá una mezcla de suelo superficial junto con el suelo mas profundo, que resulta ser una formación de cangahua que no es apropiada para el cultivo. Se debe separar el suelo superficial extraído, para que pueda ser ubicado prioritariamente sobre las plataformas de cultivo, cuando estén construidas.

En los meses de altas precipitaciones, se pueden tener altos grados de humedad en las plataformas de cultivo, como medida de previsión, se pueden colocar estacas que actúen como soporte de las paredes de cada andén o plataforma de

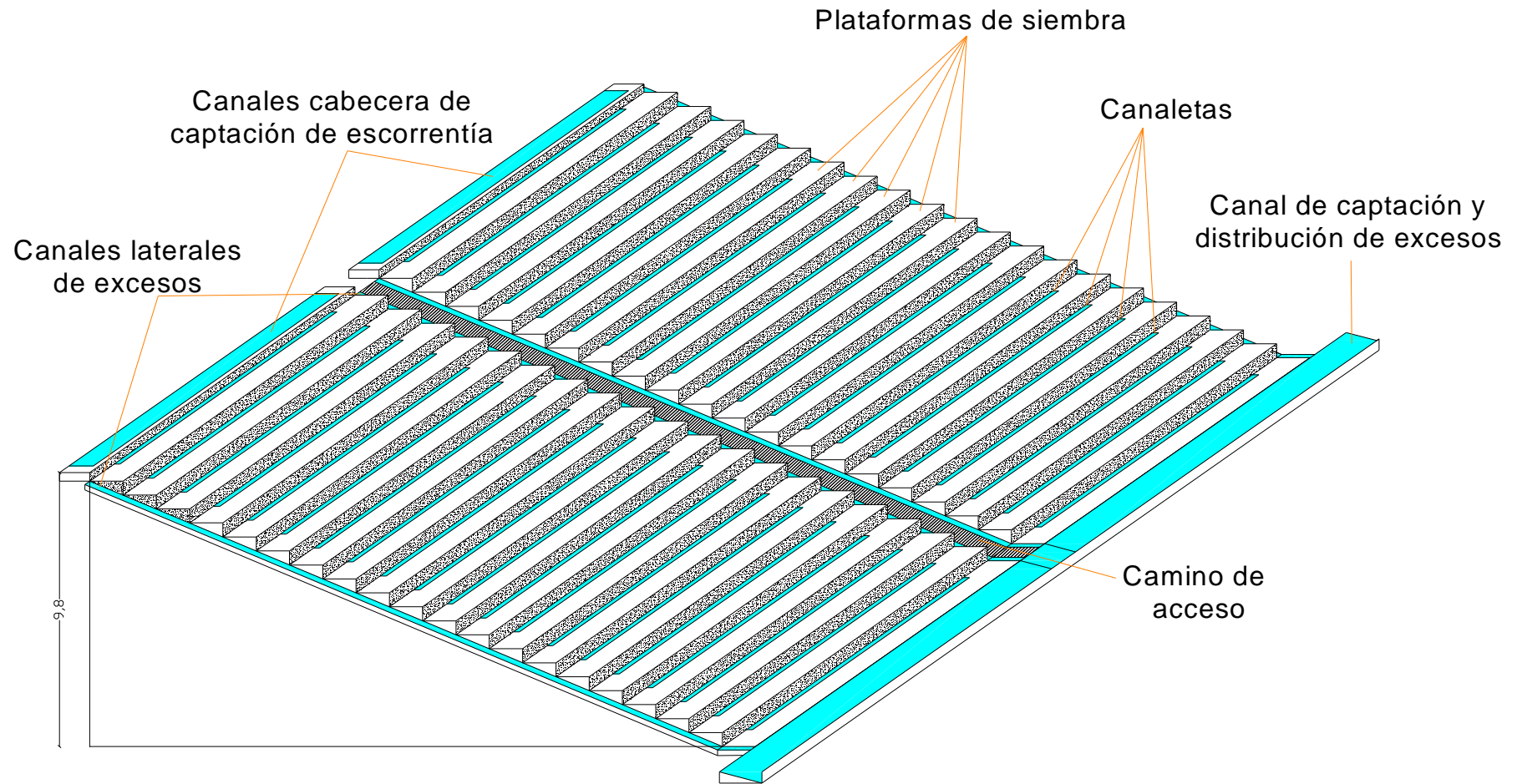
cultivo; otra opción, es colocar un recubrimiento de piedra en las paredes de cada andén de cultivo, pero puede resultar una tarea muy laboriosa, que requiere además del transporte de piedra y la mano de obra para su colocación. Para los fines de la propuesta no se considera viable la segunda opción, considerando que los andenes tienen el ancho suficiente para poderse sostener, además las canaletas pueden controlar efectivamente los excesos de agua que podrían causar inestabilidad en las plataformas de cultivo.

Se considera importante el recubrimiento plástico para el fondo de las canaletas de cabecera en cada plataforma, con el fin de crear las condiciones para la infiltración lateral desde las canaletas, hacia las plataformas de cultivo, además es necesario su mantenimiento, si se nota una considerable acumulación de sedimentos en éstas.

Los cultivos más recomendables, para sembrar en el sistema de terrazas son preferentemente el maíz, trigo o cebada, ya que si se ha sembrado papa u otros cultivos del tipo tubérculos, la cosecha de estos representaría un daño considerable en las plataformas de cultivo, ya que sería necesaria la extracción de un volumen considerable de suelo para cosechar los tubérculos. Considerando que la construcción del sistema de terrazas demanda un considerable esfuerzo y mano de obra, es aconsejable proteger éstas estructuras, con prácticas de labranza mínima.

En la Figura 5.6, se presenta una vista apreciativa del sistema de terrazas que se propone, en donde se indica; la ubicación de los canales cabecera de captación de escorrentía externa, los canales laterales de conducción de excesos, las plataformas de siembras, canaletas, canal de captación y distribución hacia el sistema de camellones y el camino de acceso.

FIGURA 5.6: VISTA APRECIATIVA DEL SISTEMA DE TERRAZAS



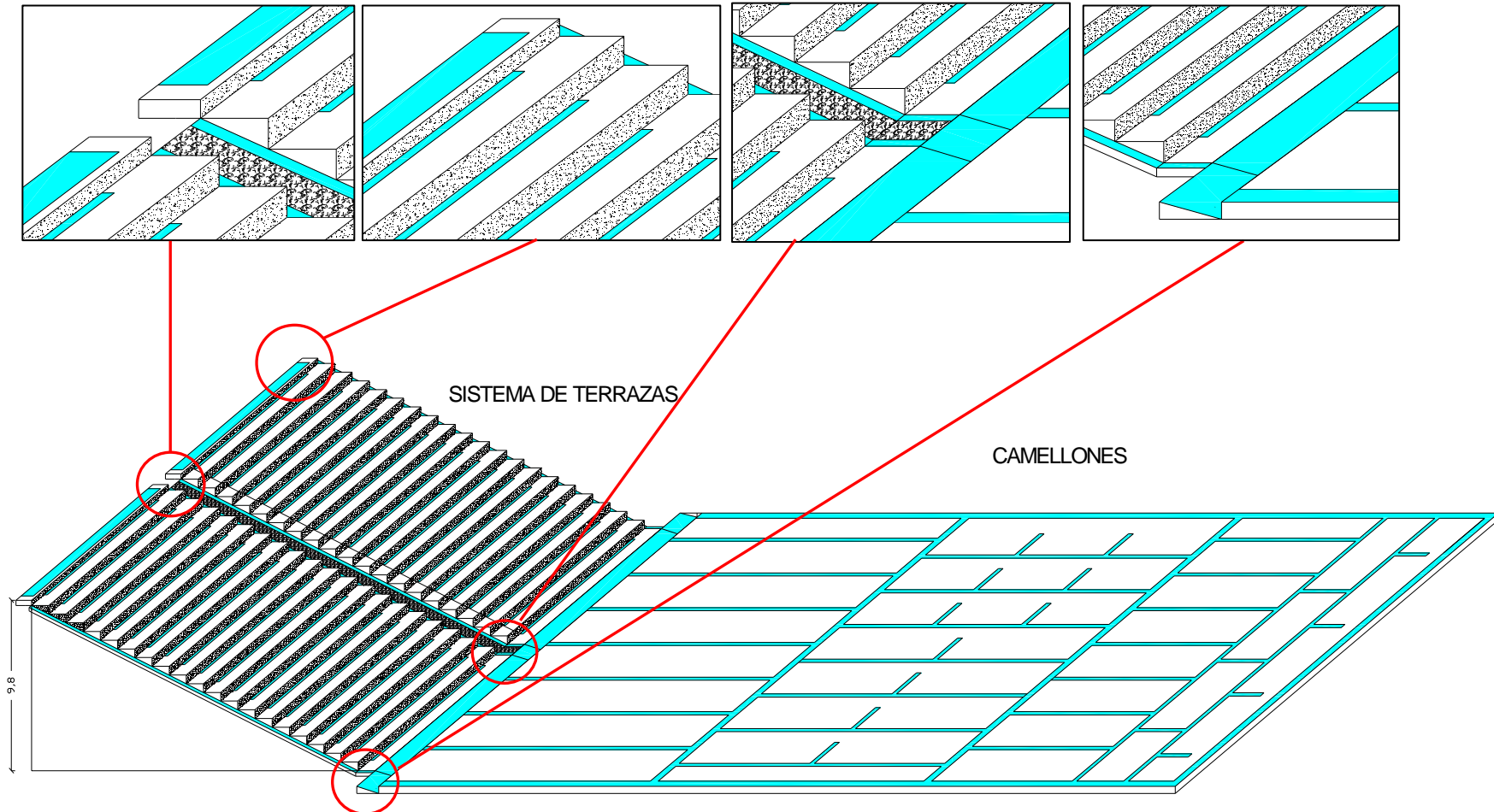
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

5.5 DISEÑO DEL SISTEMA CONJUNTO DE TERRAZAS Y CAMELLONES.

Las parcelas para las que se ha diseñado la propuesta de uso de camellones y terrazas, resultan ser parcelas continuas y de un mismo propietario, por lo que cada sistema por separado, se ha diseñado con la previsión que los sistemas se usarían en conjunto. Las principales estructuras de conexión del sistema de terrazas con el sistema de camellones, son los canales laterales, que conducen el exceso de agua que se pueda generar en las plataformas de cultivo en el sistema de terrazas, éstos canales, tienen conexión con el canal de captación y distribución de excesos de la cabecera de los camellones, de esta manera existe una simbiosis de manejo del agua entre los dos sistemas. Toda el agua de excesos que se pueda generar en las terrazas, es efectivamente conducida hacia el sistema de camellones para su uso.

En la Figura 5.7, se presenta gráficamente el diseño conjunto de terrazas y camellones, en donde se amplían ciertas zonas para su mejor apreciación, se pueden visualizar principalmente las canaletas de captación de agua, los canales cabecera de cada grupo de plataformas, los canales laterales de conducción de excesos y el canal cabecera del sistema de camellones, que conducirá los excesos de agua de las terrazas para su uso en el sistema de camellones.

FIGURA 5.7
VISTA APRECIATIVA DEL SISTEMA CONJUNTO DE TERRAZAS Y CAMELONES



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

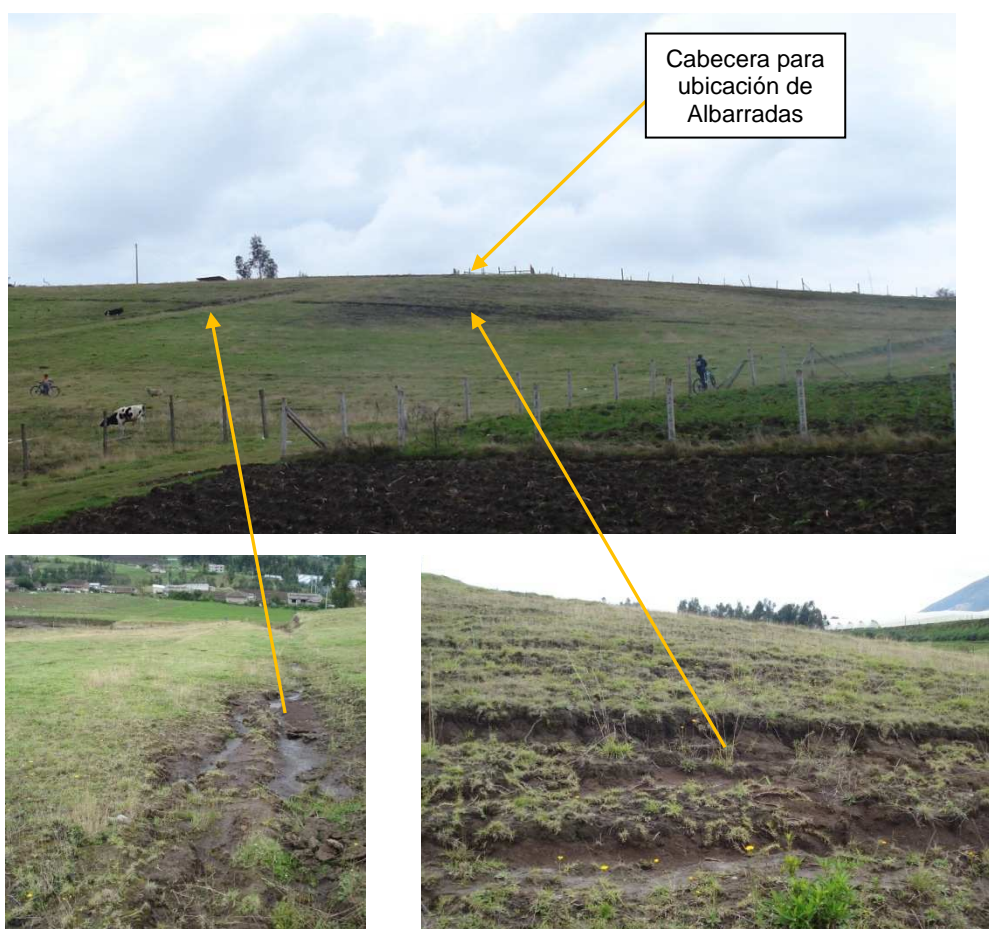
5.6 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALBARRADAS.

Se propone el sistema de albarradas, en una parcela de pendiente media, con cobertura de pasto y con un considerable proceso de erosión. La propuesta de diseño de albarradas, se encamina a frenar un proceso de erosión identificado, del cual se nota, un considerable arrastre del suelo y formación de cárcavas, producto de procesos de desprendimientos y solifluxión por efectos de circulación hídrica superficial. Estos procesos erosivos, pueden provocar en el corto plazo, la pérdida de productividad del suelo, si se proyecta el cultivo sobre éste. Se evidencia además la formación más intensiva de cárcavas, en el camino de acceso ubicado junto a la parcela, proceso que también evidencia la considerable producción de escorrentía que puede ocurrir desde la zona más alta compactada por pastoreo intensivo.

El diseño de albarradas que se propone, es básicamente un tipo de reservorios de cabecera, que capten la considerable escorrentía que se origina de la zona de mayor altura, que corresponde a la cima de la loma, lugar en donde existen terrenos con cobertura de pastizales que se los ha utilizado para pastoreo intensivo, que ha compactado el terreno, lo que está generando altos volúmenes de escorrentía erosiva, sumado la falta de cobertura vegetal de atenuación y concentración del agua lluvia en la cima de la loma.

En el diseño, específicamente se propone un tipo de reservorios rectangulares, cada cierta distancia, además, dos reservorios circulares en los extremos de la fila de albarradas. Para lograr una interconexión entre todas las albarradas, se cuenta con canales conectores, que permitirán conducir el agua a todos los reservorios en dirección de la pendiente. Adicionalmente, se propone un tipo de estructuras de captación y atenuación del movimiento de la escorrentía, que se genere dentro de los límites de la parcela.

FOTOGRAFÍA 5.3: PARCELA EN PROCESO DE EROSIÓN, PARA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA DE ALBARRADAS



PROPUESTA DE DISEÑO DE ALBARRADAS.

Se estima el volumen de agua para el diseño de albarradas, de la misma manera que para el diseño de camellones y terrazas, es decir, la lámina de intensidad de precipitación en 24 horas y el área de escurrimiento identificada como la de mayor aporte hacia a la parcela. Se identificó el área de escurrimiento, mediante un recorrido por varias ubicaciones de la cabecera de la loma, en donde se ha medido las secciones con pendiente direccionada hacia la parcela, en la cual se propone construir las albarradas, para captar el agua de escorrentía y frenar el proceso erosivo del terreno.

Complementariamente, se levantan las dimensiones de la parcela, para lo cual se ubican un total de 8 puntos perimetrales y 1 punto en el centro del terreno como

referencia. Para todos los puntos, se han identificado las dimensiones de longitud entre puntos y su cota usando un GPS, con estos datos se puede definir el área del terreno así como la dirección predominante de la pendiente, datos necesarios para ubicar las estructuras de atenuación de circulación de la escorrentía que se puede generar dentro de los límites de la parcela. Otro método útil para decidir la ubicación de las estructuras mencionadas, es la observación de la dirección de las canaletas y cárcavas formadas de la erosión hídrica en el terreno.

ALBARRADAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE ESCORRENTÍA.

Se ha identificado el área acumulada de las zonas de pastizales, con pendiente dirigida hacia la parcela, en cuya cabecera se ubicarán las albarradas. Para estimar la escorrentía superficial que se puede generar, se identifican las condiciones generales del suelo, cobertura y condición hidrológica para definir la lámina de escorrentía por el método de las curvas numéricas o del SCS. Los valores estimados se presentan en la Tabla 5.9.

TABLA 5.9: ESTIMACIÓN DE ESCORRENTÍA PARA CONSTRUCCIÓN DE ALBARRADAS

Características del Terreno	
Uso del suelo	Pastizales o campo de animales
Condición hidrológica	aceptable
Grupo de suelo	C
Estimación de Escorrentía	
Numero de Curva (CN)	79
Precipitación de diseño	41.8 mm
Potencial de retención de agua en el suelo (S)	67.5 mm
Escurrimiento promedio (Es)	8.4 mm
Área de escurrimiento	1052 m ²
Volumen de escurrimiento	8.8 m³

FUENTE: Programa Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Piura, 1997

Usando la lámina de escurrimiento estimado y el área de generación de la mayor parte de escorrentía, que desembocaría en las albarradas de captación de agua, se define la capacidad y forma de los reservorios o albarradas, que deben ser capaces de capturar todo volumen de escurrimiento estimado.

Se ha determinado que se pueden construir 5 albarradas de sección rectangular, con separaciones de 7 metros aproximadamente, además dos albarradas cilíndricas en los dos extremos de la cabecera; además, existen canales de interconexión entre todas las albarradas, para mantener el flujo de agua entre todas ellas y evitar desbordamientos. Los canales de interconexión son únicamente para conducir el agua y manejar los excesos, por lo que no se considera su volumen, para la captación de la escorrentía estimada.

Las dimensiones que se han propuesto son las siguientes:

- Albarradas rectangulares (largo x ancho x alto) en metros = 3 x 0.5 x 1
- Albarradas circulares (diámetro x alto) en metros = 1 x 1
- Canales de interconexión (largo x ancho x alto) en metros = 7 x 0.5 x 0.2

En la Tabla 5.10, se presenta el volumen de agua que toda la cabecera de albarradas es capaz de captar, de acuerdo al diseño propuesto.

TABLA 5.10: VOLUMEN DE CAPTACIÓN DE ALBARRADAS

	Número	Volumen parcial (m ³)
Albarradas rectangulares	5	1.5
Albarradas circulares	2	0.8
	Total	9.1

FUENTE: Elaborador por Bolívar Erazo

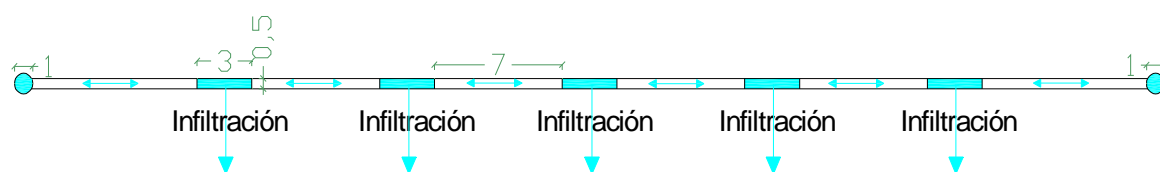
Como se puede notar, el volumen total que toda la cabecera de 5 albarradas rectangulares y 2 cilíndricas, es el adecuado para captar el volumen de escorrentía previsto, incluso con un 5 % de volumen de seguridad. Además los canales de interconexión pueden funcionar como eficientes reguladores de excesos, si la escorrentía que se puede originar, resulta mucho más alta que la estimada.

En la Figura 5.8, se presenta los reservorios de cabecera que conforman el sistema de albarradas, tienen la función de recolectar la escorrentía de la zona

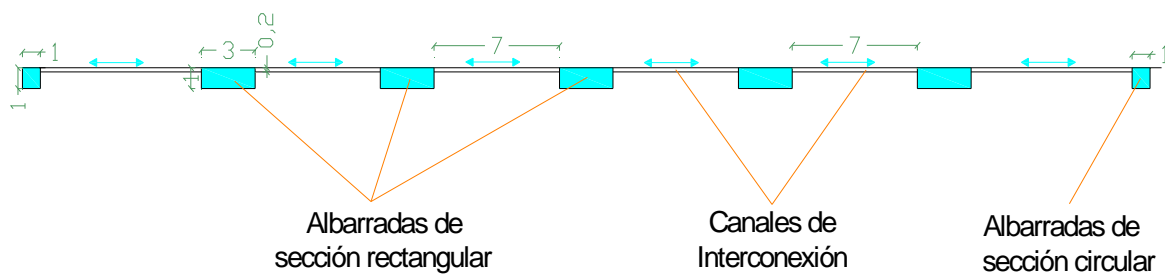
compactada, para que puedan infiltrarla en el suelo y lograr un tipo de irrigación sub-superficial para el terreno.

FIGURA 5.8: ALBARRADAS DE CABECERA PARA CAPTACIÓN DEL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

VISTA EN PLANTA



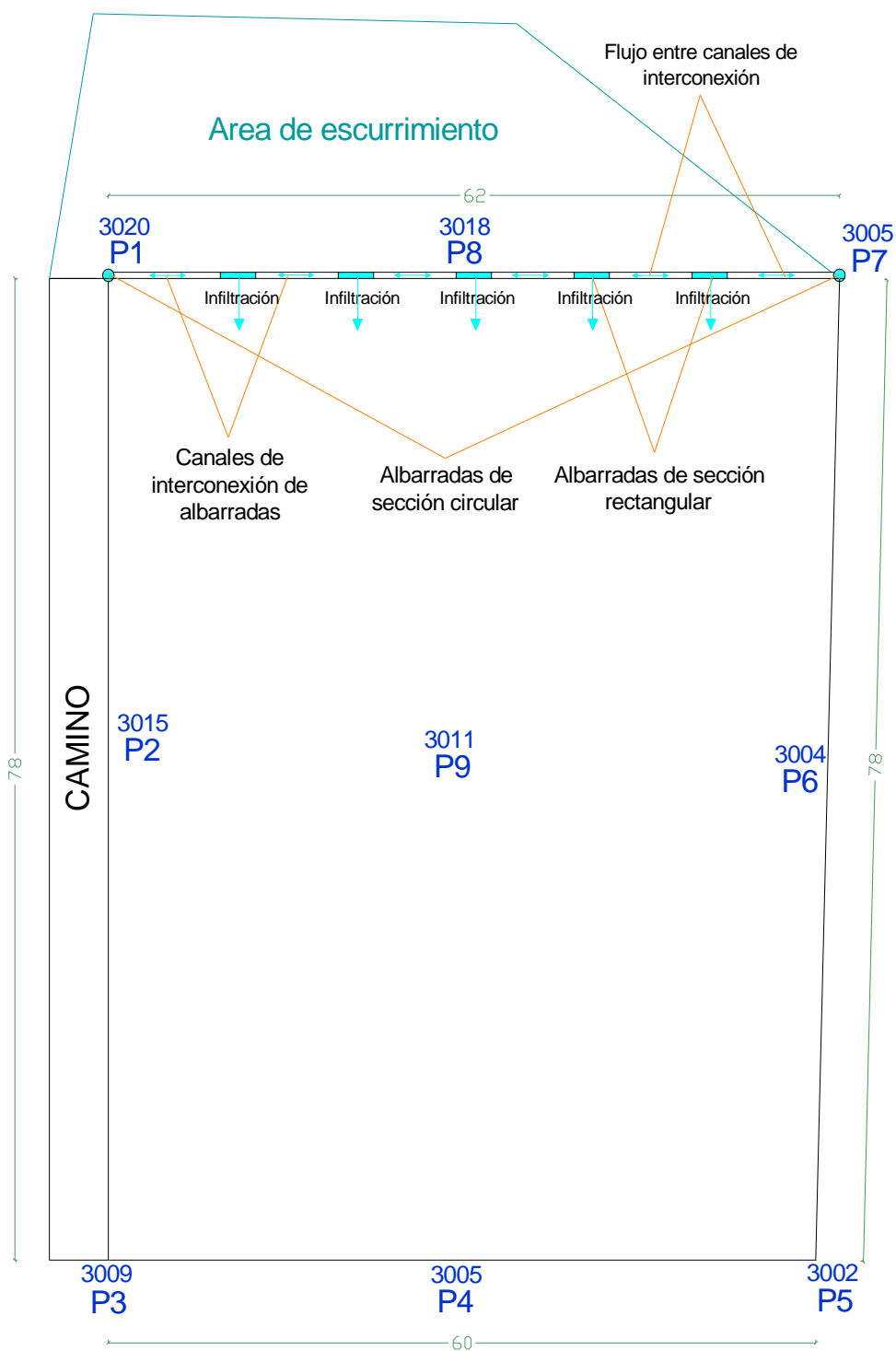
VISTA EN CORTE



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

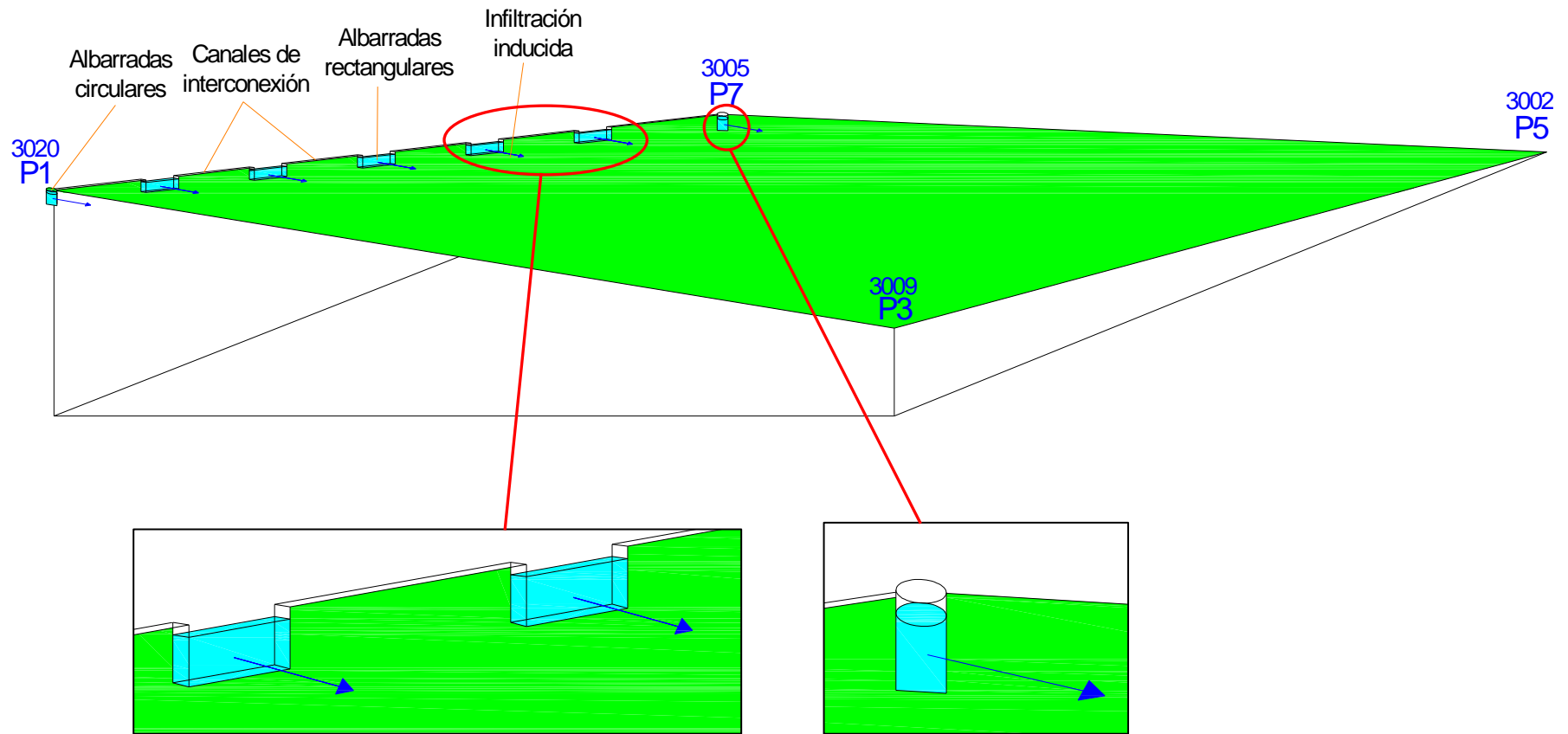
FIGURA 5.9: PARCELA PARA CONSTRUCCIÓN DE ALBARRADAS

VISTA EN PLANTA



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

VISTA APRECIATIVA



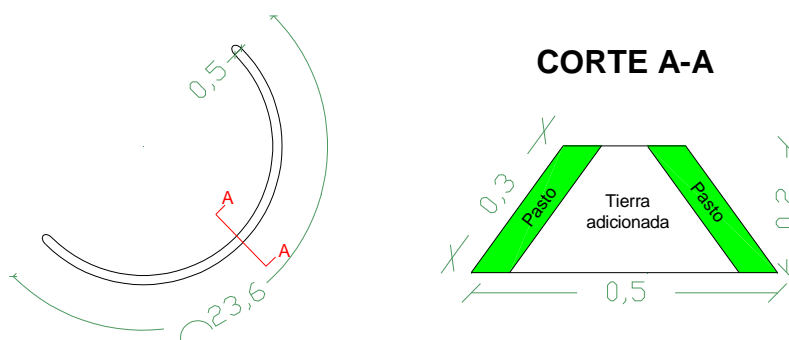
FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN Y ATENUACIÓN DE ESCORRENTÍA DE LA PARCELA.

Éstas estructuras son básicamente en forma de media circunferencia de 15 m de diámetro y una longitud de arco de 23 m aproximadamente y 0.5 m de ancho. Se propone ubicarlas, en el sentido de la pendiente predominante del terreno, para que tengan la función de atenuar la circulación del agua de escorrentía que se genere dentro de la parcela, y a la vez, que puedan acumular parte de la escorrentía para el uso de los cultivos, si se planifica la siembra en esta parcela. Estas estructuras, pueden ser construidas extrayendo la zona de pasto (chambas), en donde se marque la ubicación de éstas, se adiciona tierra extra para elevar el nivel del terreno y se usan las mismas chambas para cubrir la tierra adicionada y formar un montículo a manera de dique, con forma de media circunferencia.

En la Figura 5.10, se representa la forma de las estructuras de control de escorrentía que se proponen.

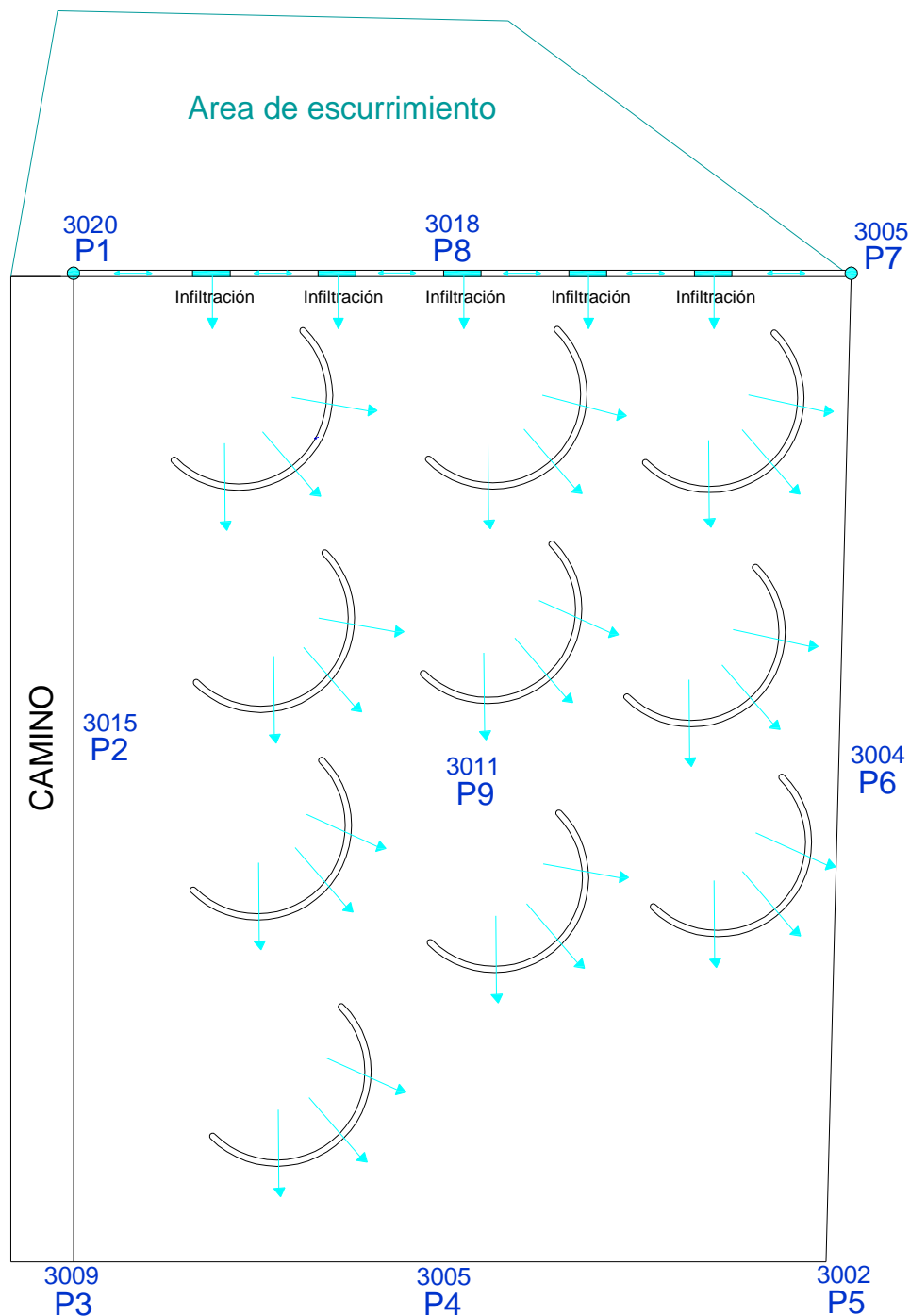
FIGURA 5.10: ESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN Y CONTROL DE ESCORRENTÍA



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

FIGURA 5.11: PARCELA CON ALBARRADAS Y ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA

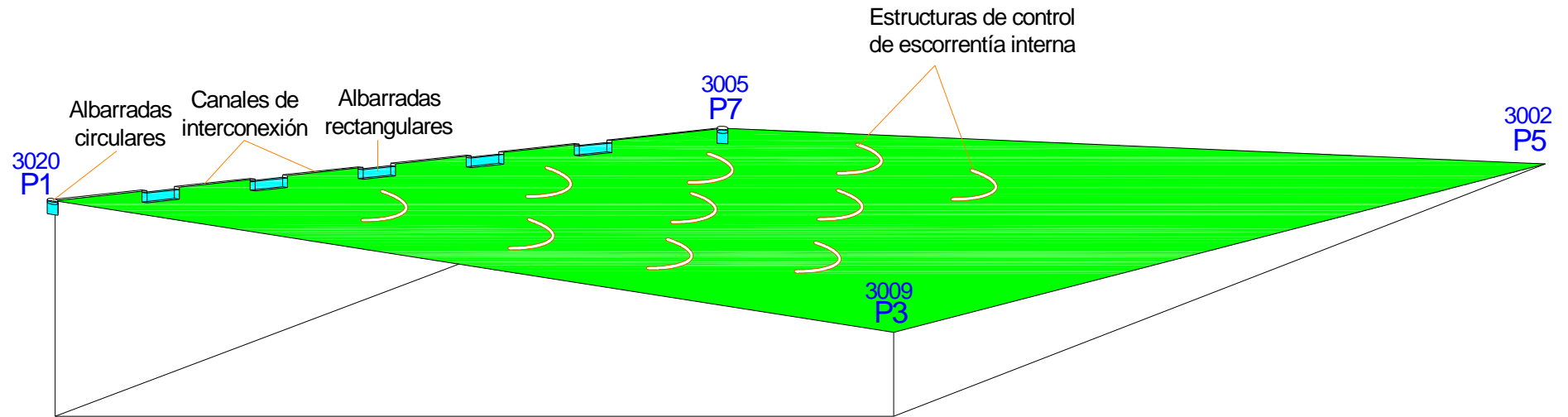
VISTA EN PLANTA



Nota: Las flechas en azul, indican las posibles direcciones de salida de los excesos de agua, que pueden ser captados en las estructuras siguientes.

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

VISTA APRECIATIVA



FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

En el diseño de albarradas de sección rectangular, que logren la infiltración lateral del agua que captan hacia la parcela sobre la que se ubican; se propone el recubrimiento de 3 de las paredes laterales, de cada albarrada de sección rectangular, con plástico impermeabilizante de larga duración, de ésta manera se pueden lograr las condiciones para infiltrar el agua en dirección lateral y pendiente abajo del terreno, para esperar, que ésta agua se transporte de sub-superficialmente por el suelo hacia las raíces de los cultivos, si se planifica la siembra en ésta parcela, o simplemente para evitar los procesos erosivos identificados. Para sujetar el material plástico de recubrimiento en las paredes de las albarradas de sección rectangular, se puede utilizar alambre regular anclado a las paredes.

En la construcción de las estructuras semicirculares de control y captación del agua de escorrentía, se puede planificar de manera sencilla, usando una cuerda sujeta a una estaca ubicada en el centro de un círculo de 7 metros de radio, para dibujar en el terreno la estructura semicircular de captación, éste semicírculo debe ubicarse en dirección de la pendiente predominante medida en el terreno en su componente horizontal y vertical, usando un GPS o instrumentos de topografía. Se extraería la cobertura de pasto de los semicírculos dibujados en el terreno, para adicionar la tierra y elevar su nivel hasta formar un dique, para esto se puede utilizar la misma tierra extraída de la excavación de las albarradas de cabecera. Una opción adicional, es el uso de piedras, para lograr una estructura de mayor duración y estabilidad en el tiempo.

5.7 COSTOS DE CONSTRUCCION DE LAS PROPUESTAS.

Finalmente, se calculan los costos que representarían construir cada uno de los sistemas de riego y cultivo propuestos. Como se ha mencionado, el principal recurso que demandaría su construcción, es la mano de obra, la misma que no representaría un costo económico, ya que se originaría de las familias propietarias de los terrenos para los que se ha diseñado la propuesta. Además, por tratarse de

un proyecto del cual se pueden evaluar resultados visibles y de aprendizaje, para todos los miembros de la comunidad dedicados a la agricultura, se puede originar una importante convocatoria de mingas para su construcción.

El resto de materiales necesarios, no representan un costo considerable, ya que básicamente se necesitarían herramientas para la construcción de canales, adecuación de montículos de siembra, excavación de orificios, elementos para medición y plástico para recubrimiento de canales entre otros que se detallan en la Tabla 5.11.

TABLA 5.11: COSTOS GENERALES DE TODOS LOS SISTEMAS PROPUESTOS

ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
Materiales Generales				
Palas puntonas	U	3	9.44	28.32
Asadones 4 lb sin mango	U	5	9.52	47.6
Barras de 12 lb	U	3	22.94	68.82
Picos de 5 lb sin mango	U	4	8.59	34.36
Piola plástica 200 gr (Rollo x 200 m)	Rollo	6	2.09	12.54
Rastrillo del 16 dientes sin mango	U	1	4.07	4.07
Carretilla reforsada	U	1	58.26	58.26
Estacas de señalización	U	150	Sin costo	--
Plástico para recubrir el piso de canales (2m x 50 m Rollo)	Rollo	3	59.93	179.79
Nivel de burbuja 12'	U	2	4.56	9.12
Cinta métrica de fibra de vidrio de 50 m	U	3	12.78	38.34
Materiales Específicos				
Sistema de Terrazas				
Piedras para camino de acceso en terrazas	m3	3	6	18
Estacas de sostenimiento de plataformas de cultivo	U	150	Sin costo	--
Sistema de Albarradas				
Escavadora	U	1	15.54	15.54
Alambre de acero galvanizado para sujetar plástico en reservorios (30 m x Rollo)	Rollo	1	5.21	5.21
Mano de Obra				
Fijación de dimensiones	# personas	3	Sin costo	--
Excavación y adecuaciones generales (camellones)	# personas	5	Sin costo	--
Excavación y adecuaciones generales (terrazas)	# personas	6	Sin costo	--

TABLA 5.11: CONTINUACIÓN

Mano de Obra				
Escavación de reservorios (albarradas)	# personas	3	Sin costo	--
Supervisión	# personas	1	Sin costo	--
Otros				
Alimentación de personas x 3 días	Días	17	5	85
Imprevistos	Global			50
			TOTAL	654.97

FUENTE: Ferreterías Kiwi, Quito, 2008

Nota: Los costos son referenciales y se pueden reducir considerablemente, si se utilizan herramientas básicas, con las que cuenta la comunidad y no acudir a la compra de éstas.

Como se puede verificar, los costos de construcción estimados son bajos y pueden ser efectivamente manejables. Algunos materiales no representarían costo, ya que se pueden obtener en la misma comunidad, como las estacas, que pueden ser obtenidas de troncos de árboles de eucalipto de los bosques de extracción cercanos.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

1. Se considera adecuado, proponer los diseños y dimensiones de las estructuras de terrazas, camellones y albarradas, usando del análisis de intensidad de precipitaciones para la zona. Así se pueden contar, con sistemas que funcionen aun en eventos de considerable intensidad de lluvia. La información climática con la que se ha trabajado es la disponible del estudio de análisis de intensidad de lluvias desarrollado por el INAMHI, con la información pluviográfica y pluviométrica de las estaciones meteorológicas representativas de todo el país.
2. Se ha utilizado el método del Servicio de Conservación de Suelo de USA (SCS), para estimar valores de escorrentía, utilizando información secundaria disponible, como la clase de suelos y tipo de cobertura. Para fines teóricos del presente proyecto, resulta un método adecuado y de fácil uso, para obtener valores de ocurrencia de escorrentía, que ocasionan las prácticas comunes de cultivos que utiliza normalmente la comunidad. Es aplicable e interesante experimentar en parcelas, para medir la escorrentía ocasionada por la adición de diferentes volúmenes de agua, esto permitiría medir la escorrentía que saldría al final de la parcela, además definir el tiempo de concentración y volumen de captación, esta experimentación puede ser parte de otro estudio que se enfoque únicamente en este aspecto.
3. Con los valores de balance hídrico, representado por los valores de irrigación natural (I_n), obtenidos en función de las condiciones climáticas (evapotranspiración) y ocurrencia de precipitaciones, se ha podido demostrar teóricamente, que los sistemas de riego tradicionales del tipo camellones y terrazas pueden lograr dos ventajas importantes. La primera

referente a la captación de todo el aporte natural de lluvias, con el fin de evitar el proceso de escorrentía y reducir al mínimo los déficits hídricos, que usando prácticas de cultivo comunes si representan valores considerables. La segunda ventaja importante, es que pueden evitar la erosión de terrenos de cultivo, eliminando los flujos hídricos superficiales que se presentan en eventos de alta intensidad de lluvia, estos flujos se puede retener efectivamente en los canales (camellones), canaletas (terrazas) y reservorios (albarradas) para evitar la erosión hídrica laminar y formación de cárcavas.

4. En el contacto social con los agricultores de la comunidad, para obtener la mayor cantidad de información en cuanto a la agricultura que practican, se ha notado el desconocimiento de los sistemas de riego tradicional que se proponen, en especial de los sistemas de camellones y albarradas, únicamente se han podido escuchar testimonios de dos personas mayores entrevistadas, las cuales han mencionado que en sus recuerdos tienen presentes los sistemas de camellones que se encontraban en campos abandonados y cubiertos de pastos en su niñez y por información que les han transmitido sus padres. Sin embargo en ningún caso han podido transmitir información en mayor detalle, porque no fueron testigos de cómo se sembraba en estos sistemas, por esto únicamente se ha utilizado la información recabada de la bibliografía encontrada especialmente en publicaciones de la editorial ABYA-YALA, para generar los diseños que se han propuesto, enfocada principalmente al manejo hídrico adecuada del agua lluvia. Quedarían pendientes, análisis cuya focalización se dirija a evaluar sus propiedades como reguladores de temperatura, para evitar la ocurrencia de heladas y los niveles de producción agrícola.
5. De la bibliografía analizada, se menciona que en los canales de camellones se puede generar un tipo de abono de importancia para la fertilización de los montículos de cultivo. Por información verbal, de algunos habitantes de la comunidad, dan constancia que cuando se hacen limpiezas y mantenimientos algunos tramos de la acequia “La compañía”, usan los sedimentos y algas que crecen en los bordes y fondos de canales para la

fertilización, asegurando sus buenos resultados. Por observación propia se ha constatado que en algunos tramos de la acequia “La Compañía”, crecen diferentes tipos de algas, en ocasiones que se ha verificado la mínima velocidad y volumen de agua. Por lo tanto, se puede hacer la relación, que similares condiciones se pueden dar en los canales de camellones, de los que se podría obtener este tipo de abono alternativo para fertilizar el suelo cultivado.

6. La construcción de sistemas de cultivo y riego, principalmente de camellones y terrazas, demandan mano de obra muy intensa mucho mayor que la necesaria para laborar el suelo y formar surcos para cultivo de la agricultura común. Esto se debe tener muy en cuenta, previa la decisión de usarlos para parcelas muy extensas, ya que los diseños de estos sistemas como se presentan, son adecuados y viables para parcelas relativamente pequeñas, en las cuales con la mano de obra familiar o ayuda de otros miembros cercanos, se pueden construir y darles mantenimiento.
7. La comunidad Santa Rosa de Ayora, tiene una importante organización, compromiso y convocatoria de mano de obra, que puede permitir poner en práctica real, la propuesta de revalorización de sistemas de cultivo y riego tradicional. La mayoría de agricultores, tienen una comprensión muy natural del funcionamiento de los sistemas que se proponen, además la convocatoria de mano de obra en la comunidad tiene mucha seriedad y organización. Los costos de los materiales requeridos no son altos y los de mayor costo son las herramientas básicas de cultivo manual, las mismas que la gran mayoría de agricultores tienen, por lo que se puede requerir menos herramientas que las presupuestadas y reducir aun más los costos previstos.
8. Se debe notar, que el uso de estos sistemas pueden tomar fuerza para extender su uso en las demás parcelas de la comunidad, en función de los resultados de productividad por unidad de área que permitan obtener los sistemas diseñados. Es determinante lo mencionado, por cuanto si las producciones en sistemas de camellones y terrazas son las mismas o

incluso menores que las de sistemas de cultivo comunes, no se los tomaría como importantes para extender su aplicación, ya que en comparación de trabajo y resultados, la comunidad retomaría las practicas de cultivo comunes y se descartaría por completo el uso de sistemas de camellones y/o terrazas.

9. Los tipos de práctica de riego y cultivos que les interesaría a los agricultores y a las cuales les invertirían trabajo, dinero y compromiso para su construcción y mantenimiento, están en orden de importancia de mayor a menor: La productividad que logren los sistemas propuestos, el dinero que represente su construcción, el trabajo que demande su construcción, el adecuado uso de agua que logren (en términos de ahorro monetario por pagar el volumen de agua que utilicen), la fertilidad que puedan generar y finalmente la conservación de la capa cultivable del suelo.
10. Transmitiendo los resultados obtenidos de la presente investigación a los miembros de la comunidad, se espera la real construcción de los tres tipos de sistemas, para evaluar los resultados reales de cada uno. Resultaría mas didáctico y de mejor comprensión para todos los agricultores, si una vez construidos los sistemas de terrazas, camellones y albarradas, se explican en estas estructuras logradas, cual es su funcionamiento y cuales han sido los resultados que han generado, especialmente en términos de productividad, esta sería una demostración visible, palpable y motivadora para revalorizar su uso y extender su aplicación.
11. De los valores de balance hídrico, obtenidos usando sistemas de cultivo comunes, se determina que las prácticas de cultivos que generan mayores déficit hídricos, son las prácticas de surcos en dirección de la pendiente, en menor grado, los surcos en contorno en terrenos con pendiente y la más adecuada práctica, resulta ser la siembra en contornos con la formación de pequeñas terrazas. Comparando los valores de este último sistema, con los que se estima, se tendrían, usando sistemas de cultivo y riego del tipo camellones y terrazas, se presenta una considerable diferencia para cada tipo de cultivo.

➤ **Para el cultivo de maíz:**

Practicando siembra en contorno en pequeñas terrazas, se presentarían aproximadamente 150 días con déficit hídrico, del total de 210 días que dura todo el periodo de crecimiento desde la siembra hasta la cosecha. Esto representa, que el porcentaje de tiempo que el cultivo de maíz debe soportar déficits hídricos de entre - 0.1 y - 25.6 mm, es del 71,4% de su periodo total de crecimiento.

Usando sistemas de cultivo y manejo de riego natural, del tipo camellones y/o terrazas, se reduce el periodo de déficit hídrico a aproximadamente 40 días, del total de 210 días que dura todo el periodo de crecimiento. Esto representa, que el porcentaje de tiempo que el cultivo de maíz sembrado en estructuras de riego tradicional, debería soportar déficits hídricos entre - 4 y - 10.4 mm, es del 19% de su periodo total de crecimiento.

➤ **Para el cultivo de trigo o cebada:**

Practicando siembra en contorno en pequeñas terrazas, se presentarían aproximadamente 80 días con déficit hídrico, del total de 180 días que dura todo el periodo de crecimiento desde la siembra hasta la cosecha. Esto representa, que el porcentaje de tiempo que un cultivo de trigo o cebada debe soportar déficits hídricos de entre - 2.1 y - 10.7 mm, es del 44.4% de su periodo total de crecimiento.

Usando sistemas de cultivo y manejo de riego natural, del tipo camellones y/o terrazas, se reduce el periodo de déficit hídrico a aproximadamente 10 días, del total de 180 días que dura todo el periodo de crecimiento. Esto representa, que el porcentaje de tiempo, que un cultivo de trigo o cebada sembrado en estructuras de riego tradicional, debería soportar déficits hídricos de alrededor de -6 mm, es del 5.6% de su periodo total de crecimiento.

➤ **Para el cultivo de papa:**

Practicando siembra en contorno en pequeñas terrazas, se presentarían aproximadamente 160 días con déficit hídrico, del total de 210 días que dura todo el periodo de crecimiento desde la siembra hasta la cosecha. Esto representa, que el porcentaje de tiempo que un cultivo de papa debe soportar déficits hídricos de entre - 0.6 y - 31.3 mm, es del 76.2% de su periodo total de crecimiento.

Usando sistemas de cultivo y manejo de riego natural, del tipo camellones y/o terrazas, se reduce el periodo de déficit hídrico a aproximadamente 30 días del total de 210 días que dura todo el periodo de crecimiento. Esto representa, que el porcentaje de tiempo que un cultivo de papa sembrado en estructuras de riego tradicional, debería soportar déficits hídricos entre - 19.8 y -29.3 mm, es del 14.3% de su periodo total de crecimiento.

6.2 RECOMENDACIONES.

1. Los valores estimados de evapotranspiración y precipitación para la zona del proyecto, solo se han utilizado para desarrollar un balance hídrico para los meses en que la comunidad tradicionalmente, por lógica y costumbre, planifican la siembra, por la ocurrencia de lluvias. Puede resultar de utilidad, usar todos los valores climáticos de evapotranspiración y precipitaciones calculadas para todos los meses del año, para otro análisis que tenga como objetivo, la planificación e instalación de sistemas de riego modernos o alternativos, para producir y sembrar independientemente de la ocurrencia de lluvias naturales y mantener cultivos durante todo el año y se planifique que aun en la época seca, se mantengan cultivos productivos. Puede resultar importante, un proyecto que contemple la producción de cultivos que generen un mayor valor de ganancia con la venta directa, si se planifica sembrar para cosecha en temporadas en las que en el precio del cultivo en el mercado sea alto, por la escasa oferta de ciertos cultivos demandados en el mercado en determinadas temporadas.

2. Los sistemas de cultivo y riego tradicional del tipo camellones, terrazas y albarradas, resultarían ser teóricamente importantes productores de un considerable volumen alimentos, ésta afirmación, sostenida por relatos e información histórica de la bibliografía consultada. Para verificar esa información, sería importante una experimentación sobre estas estructuras propuestas, para evaluar realmente cual sería la producción de estos sistemas por unidad de área. Se puede usar como referencia, las producciones que se generan de las formas comunes de siembra del tipo surcos en terrenos de baja pendiente y en contornos en terrenos de pendientes altas y medias.
3. En cuanto al sistema de terrazas, resultaría importante verificar si las plataformas de cultivo construidas, podrían soportar condiciones de alta humedad y no destruirse, para esto se ha previsto la colocación de estacas de soporte. Se dejan abiertas las opciones viables, que puedan aplicarse con el fin de evitar la inestabilidad de las plataformas de cultivo.
4. Se propone experimentar con un tipo de reservorio con recubrimiento plástico, construido al final del sistema de camellones y terrazas, en donde se acumulen las descargas de los excesos de agua, en donde se pueda medir el volumen de suelo acarreado para verificar que tan benéficos resultan ser los sistemas en evitar la erosión hídrica del suelo.
5. La propuesta de canales y canaletas recubiertas de plástico, pretende crear las condiciones para maximizar la infiltración horizontal del agua, pero necesita de una evaluación práctica, para validar su uso o descartarlas y únicamente usar canales descubiertos, ya que el uso de plástico en el recubrimiento del piso de los canales, posiblemente podría crear excesos de agua inadecuados para los cultivos. Este punto es de importancia para su análisis en específico, para justificar el uso de plástico de recubrimiento o simplemente descartarlo, lo que además representaría el ahorro en la compra de la cantidad de plástico presupuestado.

6. Es importante el análisis del abono alternativo que se puede generar de los canales de camellones y canaletas de terrazas, se puede analizar los nutrientes esenciales tanto de los sedimentos como de las plantas acuáticas que puedan desarrollarse, para valorizarlo como un tipo de fertilizante importante, para los mismos montículos o plataformas de siembras de los sistemas propuestos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Allen, Richard G. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56. Roma: Dirección de Información FAO.
2. Cachipuendo, Charles. (2004). Modulo de Estudio de Riegos II. Universidad Politécnica Salesiana. Cayambe.
3. Chávarri E., (2004). Clase VII Evapotranspiración. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola. http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/gota2006/cap01suelo.pdf.
4. Chávez L. y Tijerina Chávez. (2003). Metodología para la estimación del requerimiento de riego en base a funciones de producción. <http://mx.geocities.com/crespog3/progde/agma28/revco1.htm#top>.
5. Consejo Nacional de Recursos Hídricos. (2007). Los Recursos Hídricos en Ecuador. Cd Interactivo. Recopilación de Información Básica.
6. Critchley, Will y Klaus Siegert. (1996). Manual de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia. Tomo 1. Chile: FAO.
7. Delgadillo, Oscar. (2000). Algunos Apuntes Conceptuales sobre los Métodos y Tipos de Riego Campesino y su Relación con el Diseño de Sistemas de Riego. Serie de Artículos Científicos N°1. Universidad Mayor de San Simón. Perú. http://www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=11444266661riego_campesino.pdf
8. Domingo, F., Villagarcía, L. y Were, A. (2002). Ecosistemas, ¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. <http://www.eeza.csic.es/eeza/documentos/Domingo2003ecosistemas.pdf>

9. Doorenbos J., Pruitt W.O. (1990). Las necesidades de agua de los cultivos. Publicación N° 24, Estudio Riego y Drenaje. Roma: FAO.
10. Escurrimientos Superficiales.
http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/apoyos_dir/files/Archivos%20de%20Apoyo%20al%20Curso/ARCHIVOS%20PDF/02.pdf
11. Farías Marina. (2007). Método de Abstracciones o del Método de Curva del SCS. Universidad de Piura.
http://www.ing.udep.edu.pe/civil/material/vial/Tercer%20Trimestre/HDA/Capitulo_3/HDA%20NT02.pdf
12. Figueroa, Alexandra M., y Francisco Vega. (1993). Aspectos de Ingeniería a considerarse para el diagnostico Ambiental de proyectos de Riego en el Ecuador. Tesis de Grado EPN. Quito.
13. Foro de los Recursos Hídricos. (2002). Conclusiones, Propuestas y Acuerdo del Primer Encuentro Nacional. Quito, Consorcio Camaren.
14. Hernández, Temistocles. (1999). La Revolución Verde Indoamericana. Quito: Fraktal.
15. Instituto Geográfico Militar (1990). Mapa de Cayambe Escala 1:50.000, Hoja 3994 - II Edición 2. Quito:IGM.
16. Instituto Geográfico Militar (1979). Mapa de Paquiestancia Escala 1:25.000, Hoja 3994 - II - SE. Edición 1. Quito: IGM.
17. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (1999). Análisis de Intensidad de Lluvias. Departamento de Hidrometría. Quito: INAMHI
18. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Anuarios Meteorológicos Estación Tomalón Tabacundo MA2T. Reportes de años 1990 - 2005. Quito: INAMHI.

19. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Anuarios Meteorológicos Estación Cayambe M359. Reportes de años 1982 - 2005. Quito: INAMHI.
20. Jaramillo, Byron y Jorge Robayo. (2003). La Producción Bajo Riego y la Comercialización Campesina. Quito: CAMAREN.
21. Knapp, Grégory. (1992). Riego Precolonial y Tradicional en la Sierra Norte del Ecuador. Quito: Abya-Yala.
22. Laguna, Tania. (2005). Relación Agua Suelo Plata Clima. Guía Técnica N° 1. Lima: Intendencia de Recursos Hídricos.
23. Micucci F.G., y Taboada M.A. (1998). El agua en la producción de cultivos extensivos. INPOFOS Cono sur. Cátedra de Fertilidad de Suelos. FAUBA. INTA Castelar. [http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/3462b8ebc74e7a4003256c540055f4de/\\$FILE/Agua-Fmicucci.doc](http://www.ppi-ppic.org/ppiweb/ltams.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/3462b8ebc74e7a4003256c540055f4de/$FILE/Agua-Fmicucci.doc)
24. Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca del Ecuador. (2004). Coeficientes de Cultivo (Kc) Requerimientos de agua. <http://www.sica.gov.ec/agro/docs/reqhidricos.htm>
25. Monsalve, Germán. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Primera edición. Colombia: Tercer Mundo Editores.
26. Narro, Eduardo. (1994). Física de Suelos con Enfoque Agrícola. Primera Edición. San Felipe: Trillas.
27. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1990). Evaluación de tierras para la agricultura en regadío. Boletín de Suelos de la FAO N° 55. Roma: FAO.
28. Organización Meteorológica Mundial. (1994). Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición de proceso de datos, Análisis, Predicción y Otras Aplicaciones. Quinta edición. OMM- N°168.

29. Poats Susan V., Alex Zapatta y Charles Cachipuendo. (2001). Estudio de caso: La Acequia Tabacundo y las microcuencas de los ríos Pisque y la Chimba en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. Versión Preliminar en proceso de revisión. Quito.
<http://www.aguasustentable.org/documentos/Derechos%20de%20Agua/DE RECHOS%20AGUA%20II.pdf>
30. Programa Nacional de Regionalización Agraria. (1980). Mapa de Suelos de la Región Cayambe. Escala 1:50.000. Ministerio de Agricultura y Ganadería-Ecuador.
31. Programa Nacional de Regionalización Agraria. (1980). Leyenda de Mapa de Suelos Cayambe, Conjunto de Suelos C. 2da Revisión. Ministerio de Agricultura y Ganadería-Ecuador.
32. Sánchez, Javier. (2003). Hidrología Superficial (III). Departamento Geología, Universidad de Salamanca.
<http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/T070.pdf>
33. Sánchez, José. (1987). Riego en los Andes Ecuatorianos. Ecuador Debate. CAAP: Quito.
34. Shaxson, Francis y Richard Barber. (2005). Optimización de la Humedad del suelo para la Producción Vegetal. Boletín de suelos de la FAO N° 79. Roma: Dirección de Información.
35. Treacy, Jhon. (1994). Las Chacras de Coporaque: andenería y riego en el valle del Colca. Lima: IEP Ediciones.
36. UNESCO. Programa Hidrológico Internacional. (2003). Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. Documentos Técnicos en Hidrología N°71 (PHI-VI). París: UNESCO.
<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001384/138406s.pdf>

37. Valarezo, Galo R. (2008, Marzo). Formas Ancestrales de Almacenamiento de Agua en los Andes de Paramo. Quito.
38. Valarezo, Galo R. (2008). Sembrando Agua para la Vida. Primera Edición. Quito: COMUNIDEC.
39. Valdez, Francisco. (2006). Agricultura Ancestral: Camellones y Albarradas. Tomo N°3. Quito: Abya-Yala.
40. Veintimilla, César I. (1999). Memorias de Primer Congreso Ecuatoriano de Antropología. Análisis Opal-Fitolitos en Camellones del Sector Puntiaichil, Cantón Cayambe. Volumen III. Quito: Ediciones Abya Yala.
41. Zapatta, Alex. (2005). Elementos Alternativos para una Propuesta de Gestión del Riego. Cuadernos Populares del Agua. Quito: Foro de Recursos Hídricos.
42. Zapatta, Alex y Pierre Gaselin. (2005). El Riego en el Ecuador: Problemática, Debate y Políticas. Quito: CAMAREN.

ANEXOS

ANEXO N° 1

GRÁFICOS DE AJUSTE DE LA ET_0 DE ACUERDO A PARAMETROS CLIMATICOS ESPECIFICOS

- METODO BLANEY CRIDDLE
- MÉTODO DE LA RADIACIÓN
- MÉTODO DE PENMAN MODIFICADO

GRÁFICO Nº 1: CURVAS PARA PREDICCIÓN GRÁFICA DE LA ETo A PARTIR DEL FACTOR f DE BLANEY CRIDDLE.

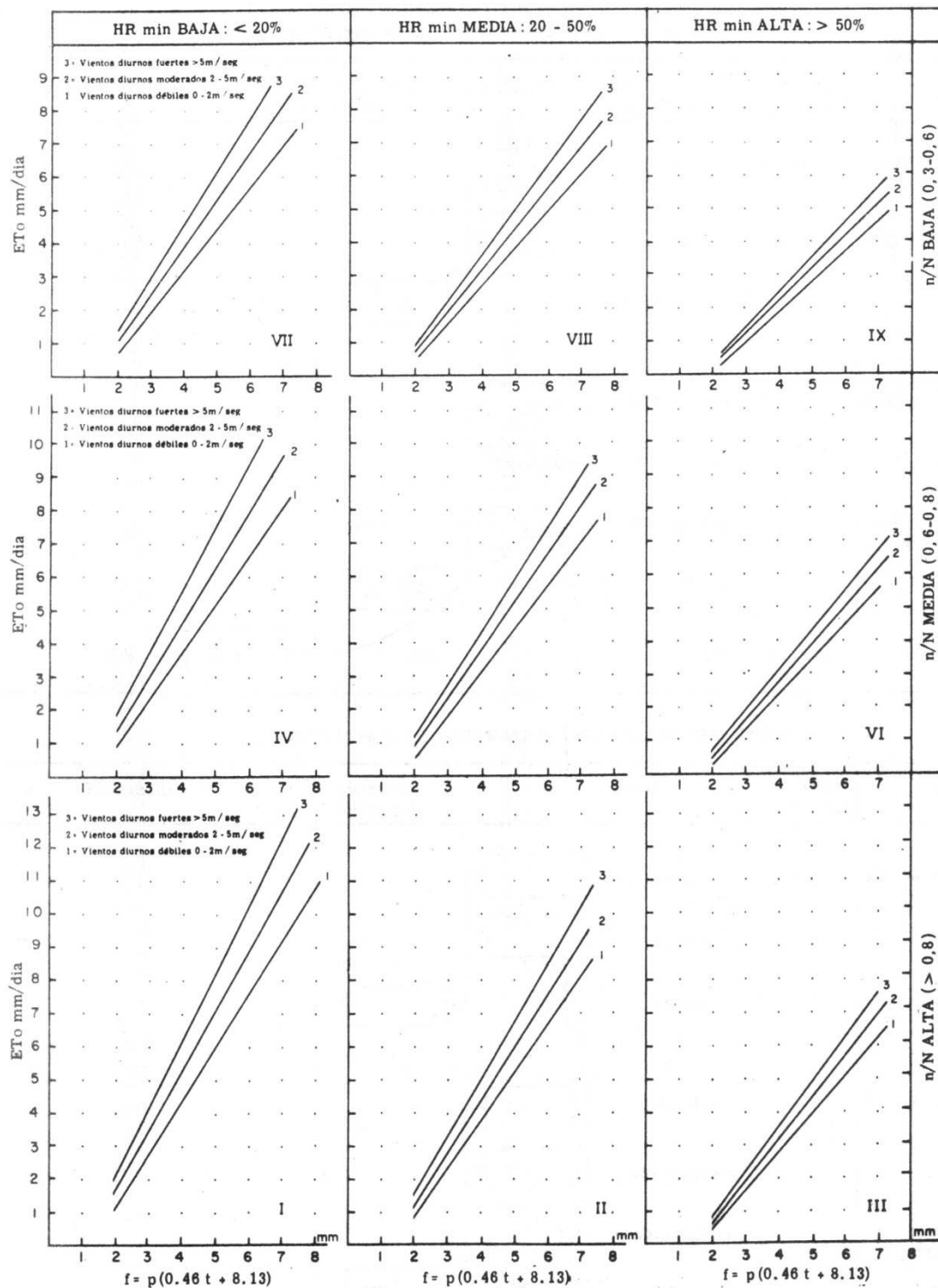
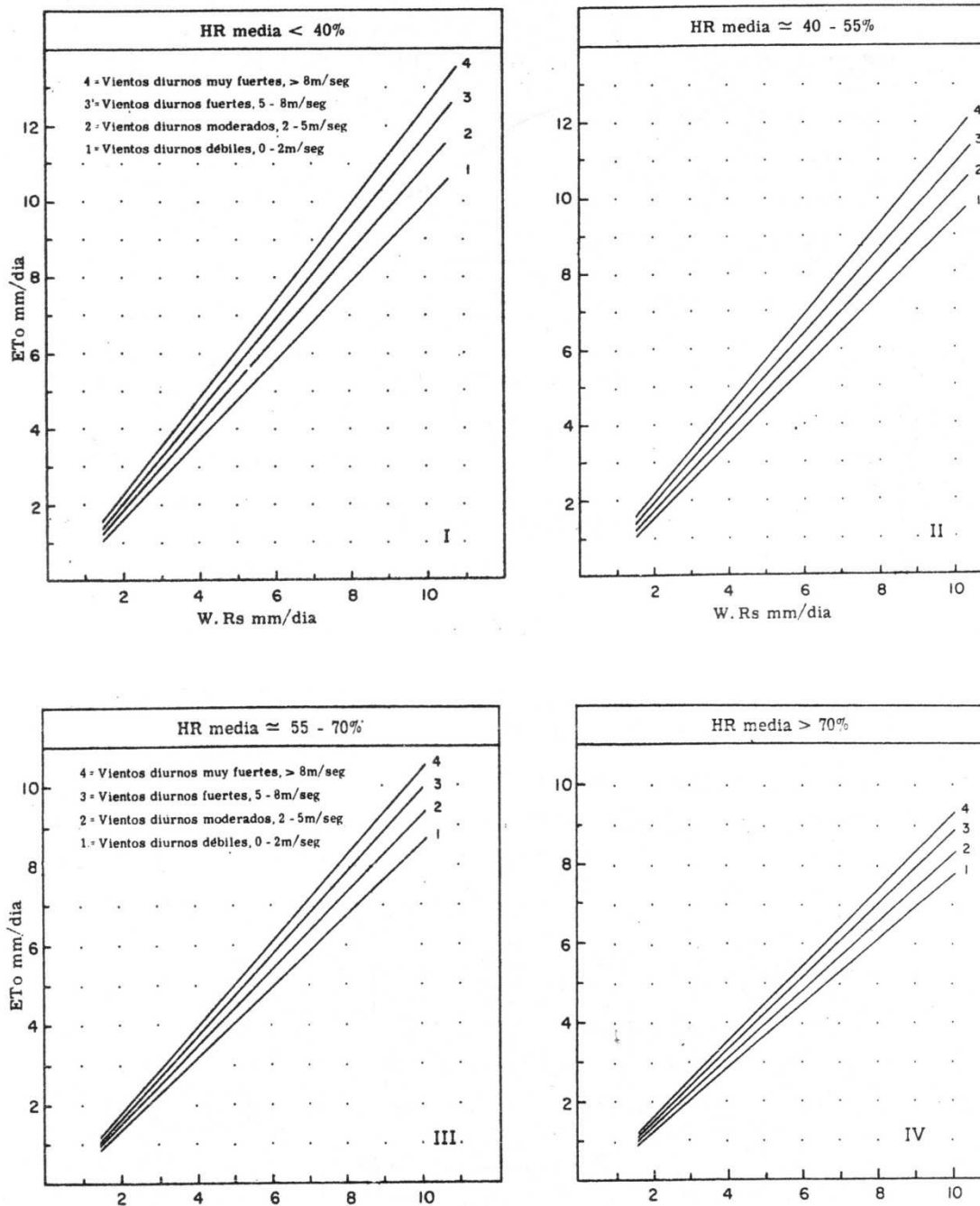


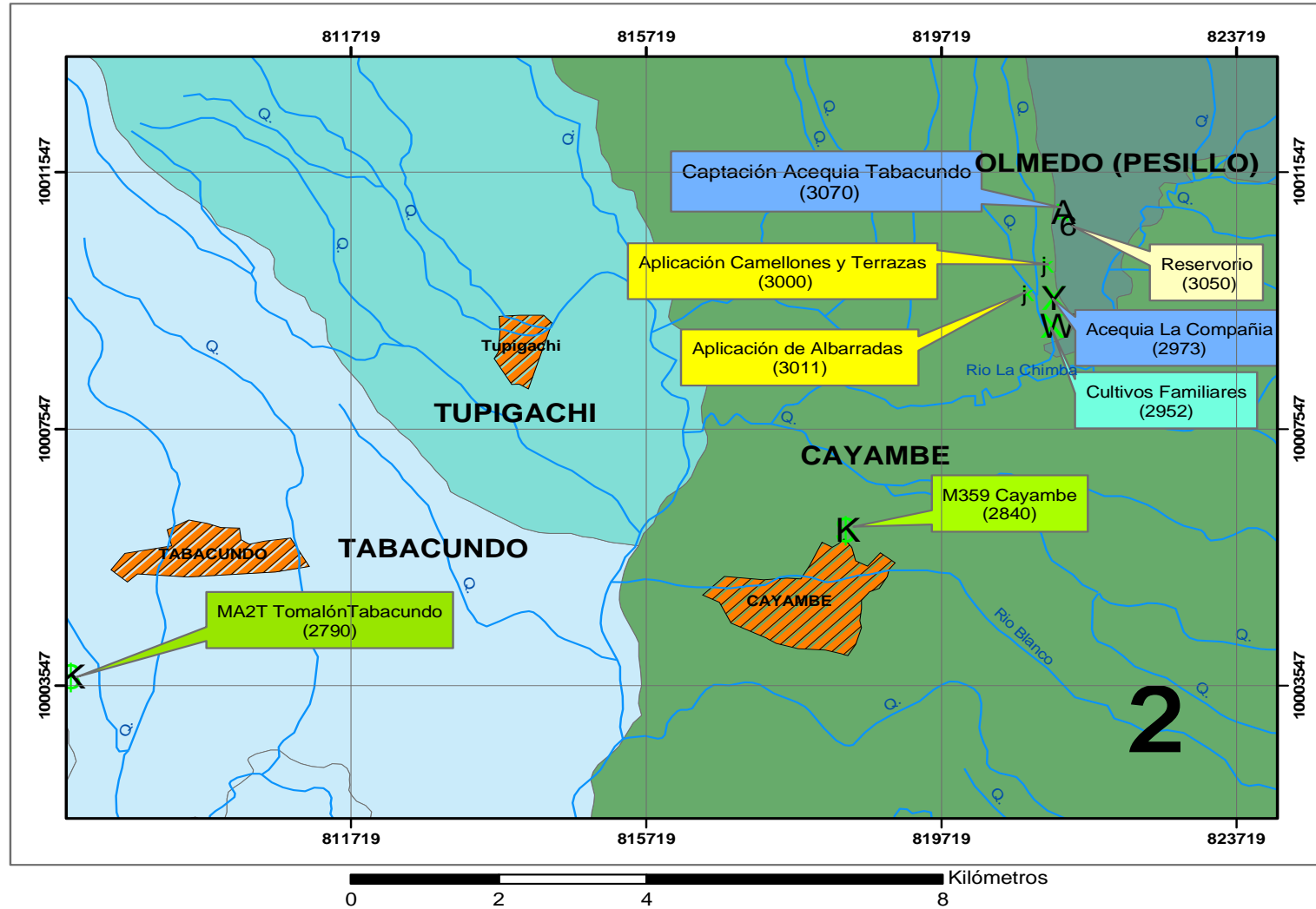
GRÁFICO Nº 2: CURVAS PARA PREDICCIÓN GRÁFICA DE LA ET_o A PARTIR DEL FACTOR W*Rs CALCULADO CON EL MÉTODO DE LA RADIACIÓN.



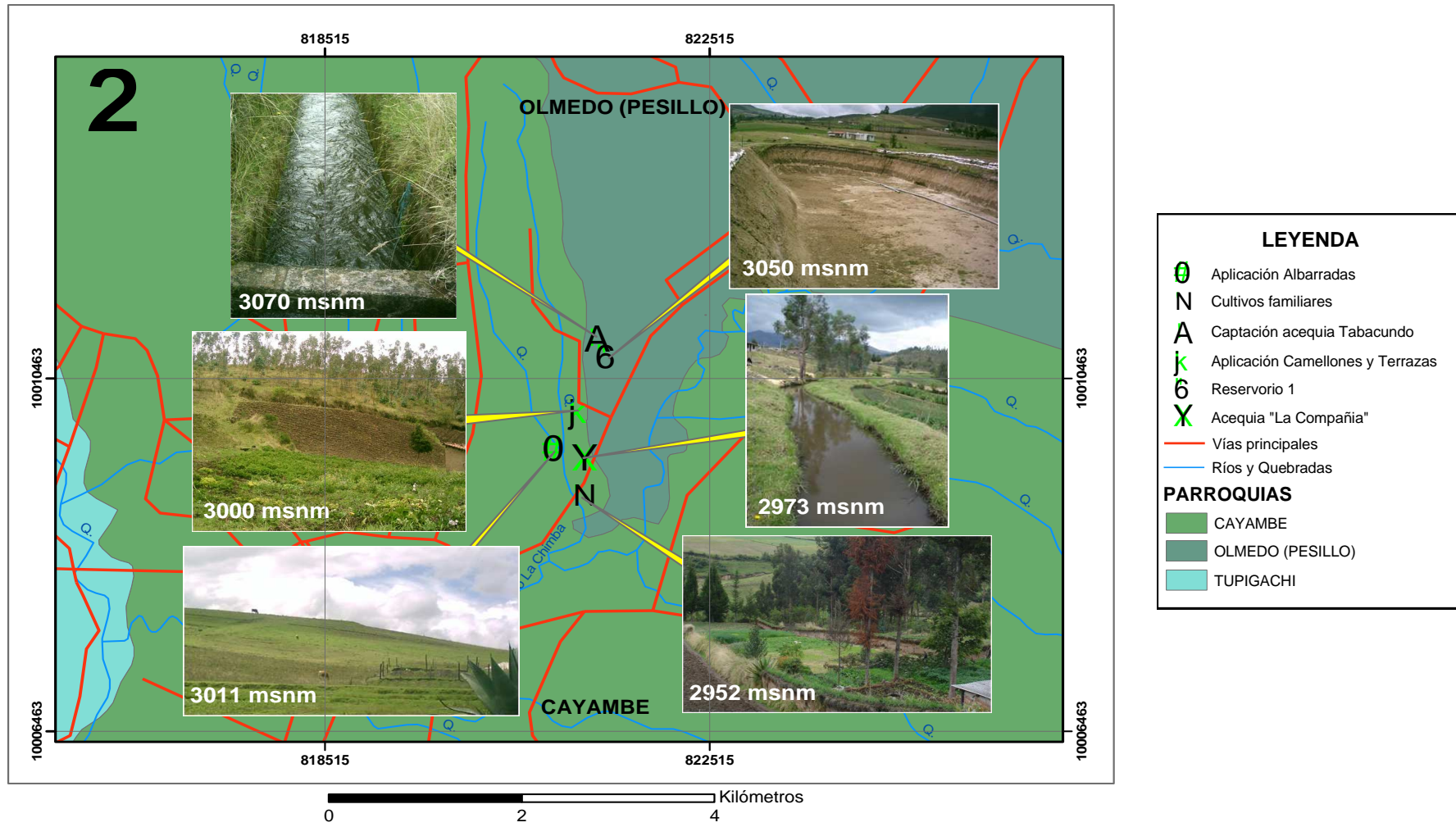
ANEXO N° 2

MAPAS DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE INTERES DEL
PROYECTO

MAPA DE UBICACIÓN GENERAL DE PUNTOS (ESCALA 1:60.000).



UBICACIÓN DE PUNTOS DE IMPORTANCIA PARA EL PROYECTO DE APLICACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO TRADICIONAL (ESCALA 1:50.000).



ANEXO N° 3

DATOS CLIMÁTICOS Y TABLAS DE VALORES DE UTILIDAD PARA CÁLCULOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN

TABLA 1
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)
 ESTACIÓN: Tomalón Tabacundo MA2T (1990-2005)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	15.4	14.8	14.9	15.1	15.0	15.6	16.1	14.4	15.4	15.2
1991	15.1	15.6	15.3	14.9	15.4	15.3	15.1	15.0	15.3	15.4	14.6	15.2
1992	15.7	15.3	15.8	15.5	14.8	16.3	15.0	15.2	14.7	15.1	14.9	15.2
1993	14.3	14.1	14.0	14.5	14.7	16.3	15.3	15.6	15.0	15.8	14.8	SD
1994	14.4	14.3	14.1	14.5	15.0	15.4	15.4	15.4	15.6	15.0	14.1	15.0
1995	15.4	15.2	15.0	15.5	14.9	15.5	15.0	15.3	15.8	15.1	14.2	14.0
1996	13.7	13.9	14.1	14.3	14.2	14.5	14.7	15.2	15.9	14.2	14.7	14.8
1997	13.9	14.7	15.3	14.8	15.5	14.8	15.8	16.4	16.0	15.9	14.8	16.0
1998	16.9	16.2	15.8	15.5	15.8	15.2	14.7	15.2	15.3	15.2	14.7	14.8
1999	14.2	13.5	14.1	14.4	14.1	13.7	14.9	14.9	13.7	14.3	14.5	13.6
2000	13.5	13.5	13.5	14.0	13.7	14.1	14.4	14.9	13.8	15.6	14.6	14.5
2001	13.8	14.8	14.3	14.9	14.9	15.1	15.1	16.1	14.6	16.3	14.9	15.3
2002	15.6	15.0	15.0	14.4	15.7	15.0	15.6	15.6	15.7	15.3	14.6	14.8
2003	15.1	15.4	14.4	14.9	14.8	14.3	15.1	15.7	15.0	14.5	14.6	14.5
2004	14.6	14.3	15.8	14.8	14.9	15.2	14.4	16.0	14.9	14.9	15.2	14.6
2005	14.7	15.0	14.4	14.9	15.0	15.1	15.5	16.0	15.7	14.8	15.1	13.8

SD: Meses sin datos de temperatura media

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 2
HORAS REALES MENSUALES DE INSOLACIÓN (n) (horas/mes)
 ESTACIÓN: Tomalón Tabacundo MA2T (1990-2005)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	140.4	132.8	190.3	252.2	287.3	226.0	170.1	201.7	208.1
1991	218.8	200.4	153.6	173.5	178.0	220.2	212.4	235.5	198.1	190.8	158.5	219.2
1992	230.3	195.2	156.1	140.2	138.1	223.3	254.6	251.5	175.9	188.9	206.1	206.1
1993	190.6	163.4	125.3	159.9	168.9	261.0	249.9	265.8	192.2	205.1	169.2	SD
1994	185.3	147.3	122.8	151.9	162.5	221.0	268.3	230.5	237.2	206.2	161.3	173.8
1995	206.1	200.1	162.0	163.8	175.4	194.9	212.5	236.2	218.5	198.0	149.0	188.1
1996	134.7	111.9	129.6	155.8	177.7	166.9	240.8	240.9	235.4	168.4	223.2	219.4
1997	185.9	138.4	185.3	178.7	186.0	176.0	296.6	281.5	211.2	182.3	128.2	145.9
1998	199.7	145.8	141.0	143.7	155.7	173.9	200.1	204.7	173.3	176.1	185.9	216.3
1999	129.8	98.6	147.7	143.2	160.3	132.0	244.6	233.3	121.8	169.9	184.0	128.7
2000	164.3	151.6	125.7	138.7	125.6	172.7	223.9	222.5	162.3	228.3	187.7	197.0
2001	164.6	197.6	125.1	157.2	133.3	228.1	241.7	289.8	167.0	263.9	163.0	186.1
2002	227.5	153.1	129.2	148.7	183.8	230.8	245.4	270.6	234.8	192.9	154.0	170.4
2003	212.1	170.3	128.4	179.7	183.4	153.3	263.0	250.0	196.2	182.6	174.1	163.2
2004	251.2	160.2	186.8	151.2	184.4	228.7	192.8	288.1	189.1	183.2	172.7	200.1
2005	187.6	148.2	115.0	137.5	194.2	173.1	240.4	261.3	216.5	144.4	196.6	123.0

SD: Meses sin datos de heliofanía

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 3**HORAS REALES DIARIAS DE INSOLACIÓN (n) (horas/día)**

ESTACIÓN: Tomalón Tabacundo MA2T (1990-2005)

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Días/mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
1990	SD	SD	SD	4.68	4.28	6.34	8.14	9.27	7.53	5.49	6.72	6.71
1991	7.06	7.16	4.95	5.78	5.74	7.34	6.85	7.60	6.60	6.15	5.28	7.07
1992	7.43	6.97	5.04	4.67	4.45	7.44	8.21	8.11	5.86	6.09	6.87	6.65
1993	6.15	5.84	4.04	5.33	5.45	8.70	8.06	8.57	6.41	6.62	5.64	SD
1994	5.98	5.26	3.96	5.06	5.24	7.37	8.65	7.44	7.91	6.65	5.38	5.61
1995	6.65	7.15	5.23	5.46	5.66	6.50	6.85	7.62	7.28	6.39	4.97	6.07
1996	4.35	4.00	4.18	5.19	5.73	5.56	7.77	7.77	7.85	5.43	7.44	7.08
1997	6.00	4.94	5.98	5.96	6.00	5.87	9.57	9.08	7.04	5.88	4.27	4.71
1998	6.44	5.21	4.55	4.79	5.02	5.80	6.45	6.60	5.78	5.68	6.20	6.98
1999	4.19	3.52	4.76	4.77	5.17	4.40	7.89	7.53	4.06	5.48	6.13	4.15
2000	5.30	5.41	4.05	4.62	4.05	5.76	7.22	7.18	5.41	7.36	6.26	6.35
2001	5.31	7.06	4.04	5.24	4.30	7.60	7.80	9.35	5.57	8.51	5.43	6.00
2002	7.34	5.47	4.17	4.96	5.93	7.69	7.92	8.73	7.83	6.22	5.13	5.50
2003	6.84	6.08	4.14	5.99	5.92	5.11	8.48	8.06	6.54	5.89	5.80	5.26
2004	8.10	5.72	6.03	5.04	5.95	7.62	6.22	9.29	6.30	5.91	5.76	6.45
2005	6.05	5.29	3.71	4.58	6.26	5.77	7.75	8.43	7.22	4.66	6.55	3.97

SD: Meses sin datos de heliofanía

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 4**RELACIONES DE n/N**

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	0.39	0.35	0.52	0.67	0.77	0.62	0.45	0.56	0.55
1991	0.58	0.59	0.41	0.48	0.47	0.61	0.57	0.63	0.55	0.51	0.44	0.58
1992	0.61	0.58	0.42	0.39	0.37	0.62	0.68	0.67	0.48	0.50	0.57	0.55
1993	0.51	0.48	0.33	0.44	0.45	0.72	0.67	0.71	0.53	0.55	0.47	SD
1994	0.49	0.43	0.33	0.42	0.43	0.61	0.72	0.61	0.65	0.55	0.44	0.46
1995	0.55	0.59	0.43	0.45	0.47	0.54	0.57	0.63	0.60	0.53	0.41	0.50
1996	0.36	0.33	0.35	0.43	0.47	0.46	0.64	0.64	0.65	0.45	0.61	0.58
1997	0.50	0.41	0.49	0.49	0.50	0.48	0.79	0.75	0.58	0.49	0.35	0.39
1998	0.53	0.43	0.38	0.40	0.42	0.48	0.53	0.55	0.48	0.47	0.51	0.58
1999	0.35	0.29	0.39	0.39	0.43	0.36	0.65	0.62	0.34	0.45	0.51	0.34
2000	0.44	0.45	0.34	0.38	0.33	0.48	0.60	0.59	0.45	0.61	0.52	0.53
2001	0.44	0.58	0.33	0.43	0.36	0.63	0.64	0.77	0.46	0.70	0.45	0.50
2002	0.61	0.45	0.34	0.41	0.49	0.64	0.65	0.72	0.65	0.51	0.42	0.45
2003	0.57	0.50	0.34	0.50	0.49	0.42	0.70	0.67	0.54	0.49	0.48	0.44
2004	0.67	0.47	0.50	0.42	0.49	0.63	0.51	0.77	0.52	0.49	0.48	0.53
2005	0.50	0.44	0.31	0.38	0.52	0.48	0.64	0.70	0.60	0.38	0.54	0.33

SD: Meses sin datos de heliofanía

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 5
RADIACION SOLAR (Rs) EN EQUIVALENTE DE EVAPORACIÓN (mm/día)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	0.44	0.43	0.51	0.59	0.63	0.56	0.48	0.53	0.53
1991	0.54	0.55	0.45	0.49	0.49	0.55	0.53	0.56	0.52	0.50	0.47	0.54
1992	0.56	0.54	0.46	0.44	0.43	0.56	0.59	0.59	0.49	0.50	0.53	0.52
1993	0.50	0.49	0.42	0.47	0.48	0.61	0.58	0.60	0.51	0.52	0.48	SD
1994	0.50	0.47	0.41	0.46	0.47	0.55	0.61	0.56	0.58	0.52	0.47	0.48
1995	0.52	0.55	0.47	0.48	0.48	0.52	0.53	0.56	0.55	0.51	0.46	0.50
1996	0.43	0.42	0.42	0.46	0.49	0.48	0.57	0.57	0.57	0.47	0.56	0.54
1997	0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.49	0.65	0.63	0.54	0.49	0.43	0.44
1998	0.52	0.47	0.44	0.45	0.46	0.49	0.52	0.52	0.49	0.48	0.51	0.54
1999	0.42	0.40	0.45	0.45	0.46	0.43	0.58	0.56	0.42	0.48	0.50	0.42
2000	0.47	0.47	0.42	0.44	0.42	0.49	0.55	0.55	0.47	0.55	0.51	0.51
2001	0.47	0.54	0.42	0.47	0.43	0.56	0.57	0.64	0.48	0.60	0.47	0.50
2002	0.55	0.48	0.42	0.45	0.50	0.57	0.58	0.61	0.57	0.51	0.46	0.48
2003	0.53	0.50	0.42	0.50	0.49	0.46	0.60	0.58	0.52	0.49	0.49	0.47
2004	0.58	0.49	0.50	0.46	0.50	0.57	0.51	0.63	0.51	0.49	0.49	0.52
2005	0.50	0.47	0.40	0.44	0.51	0.49	0.57	0.60	0.55	0.44	0.52	0.41

SD: Meses sin datos de heliofanía

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 6
INDICES DE PONDERACION PARA CADA VALOR DE TEMPERATURA

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	0.73	0.72	0.73	0.73	0.73	0.74	0.75	0.72	0.73	0.73
1991	0.73	0.74	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.73
1992	0.74	0.73	0.74	0.74	0.72	0.75	0.73	0.73	0.72	0.73	0.73	0.73
1993	0.72	0.71	0.71	0.72	0.72	0.75	0.73	0.74	0.73	0.74	0.72	SD
1994	0.72	0.72	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.74	0.73	0.71	0.73
1995	0.73	0.73	0.73	0.74	0.73	0.74	0.73	0.73	0.74	0.73	0.72	0.71
1996	0.71	0.71	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.73	0.74	0.72	0.72	0.72
1997	0.71	0.72	0.73	0.72	0.74	0.72	0.74	0.75	0.74	0.74	0.72	0.74
1998	0.76	0.75	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72
1999	0.72	0.70	0.71	0.72	0.71	0.71	0.73	0.73	0.71	0.72	0.72	0.71
2000	0.70	0.70	0.70	0.71	0.71	0.71	0.72	0.73	0.71	0.74	0.72	0.72
2001	0.71	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.75	0.72	0.75	0.73	0.73
2002	0.74	0.73	0.73	0.72	0.74	0.73	0.74	0.74	0.74	0.73	0.72	0.72
2003	0.73	0.73	0.72	0.73	0.72	0.72	0.73	0.74	0.73	0.72	0.72	0.72
2004	0.72	0.72	0.74	0.72	0.73	0.73	0.72	0.74	0.73	0.73	0.73	0.72
2005	0.72	0.73	0.72	0.73	0.73	0.73	0.74	0.74	0.74	0.72	0.73	0.71

SD: Meses sin datos de temperatura media mensual

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

TABLA 7
VALORES DE Rs*W (mm/día)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	4.92	4.47	5.19	6.02	6.91	6.40	5.27	5.85	5.71
1991	5.93	6.24	5.23	5.43	5.15	5.64	5.48	6.08	5.86	5.70	5.10	5.87
1992	6.18	6.11	5.33	4.99	4.53	5.80	6.05	6.33	5.45	5.64	5.86	5.68
1993	5.42	5.43	4.66	5.18	4.95	6.34	6.02	6.60	5.73	5.97	5.29	SD
1994	5.36	5.19	4.63	5.06	4.89	5.66	6.29	6.06	6.51	5.88	5.09	5.19
1995	5.78	6.18	5.33	5.36	5.06	5.30	5.47	6.13	6.24	5.77	4.92	5.28
1996	4.56	4.57	4.74	5.10	5.01	4.80	5.82	6.18	6.52	5.23	6.09	5.82
1997	5.30	5.09	5.72	5.50	5.28	4.96	6.74	6.94	6.16	5.64	4.67	4.89
1998	5.87	5.39	5.09	5.04	4.88	4.98	5.27	5.66	5.48	5.46	5.53	5.77
1999	4.54	4.32	5.01	4.92	4.76	4.24	5.90	6.03	4.52	5.26	5.47	4.40
2000	4.95	5.17	4.62	4.80	4.25	4.84	5.56	5.88	5.14	6.30	5.54	5.46
2001	4.99	6.08	4.69	5.18	4.47	5.72	5.89	7.02	5.30	6.94	5.20	5.40
2002	6.12	5.37	4.83	5.00	5.27	5.75	6.00	6.67	6.49	5.72	5.04	5.12
2003	5.83	5.71	4.75	5.53	5.16	4.59	6.18	6.38	5.79	5.47	5.34	4.98
2004	6.33	5.40	5.80	5.08	5.19	5.74	5.14	6.98	5.67	5.53	5.39	5.52
2005	5.42	5.29	4.55	4.88	5.33	4.95	5.92	6.59	6.20	4.94	5.74	4.34

SD: Meses sin datos de temperatura media y/o heliofanía

FUENTE: Elaborado por Bolívar Erazo

TABLA 8
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (km/h)
ESTACIÓN: Tomalón Tabacundo MA2T (1990-2005)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	15.0	12.6	8.7	8.9	10.2	11.1
1991	7.7	7.9	6.0	6.3	6.7	6.8	12.3	16.9	13.4	11.7	5.7	8.1	9.1
1992	8.9	8.4	7.8	6.5	6.7	13.3	15.7	14.3	9.7	10.5	6.6	6.5	9.6
1993	6.8	6.2	6.8	4.9	5.6	12.5	12.4	17.0	8.5	8.7	5.2	SD	8.6
1994	5.3	5.0	4.7	5.5	5.2	9.4	15.1	13.0	14.3	5.3	4.2	4.7	7.6
1995	6.3	5.5	4.8	4.2	4.1	5.7	5.9	7.4	8.8	4.1	2.1	2.0	5.1
1996	1.5	2.9	2.0	2.4	2.9	3.1	6.1	8.4	7.1	3.1	4.5	5.2	4.1
1997	3.1	3.8	4.3	3.6	4.7	3.5	12.4	12.4	6.8	4.9	2.7	4.4	5.6
1998	5.4	3.9	3.3	2.1	4.7	4.8	5.3	5.9	5.1	4.5	3.3	3.8	4.3
1999	2.7	2.2	3.1	3.0	3.2	2.6	7.3	5.8	3.2	3.4	3.2	2.3	3.5
2000	3.1	2.9	2.4	2.4	2.1	3.7	6.6	8.4	3.3	6.5	4.2	4.6	4.2
2001	3.8	7.2	3.3	4.5	3.8	9.1	8.5	16.1	6.3	7.5	4.3	3.7	6.5
2002	5.9	4.6	3.8	3.2	6.9	12.2	10.4	15.2	9.3	6.9	4.9	6.4	7.5
2003	6.5	5.8	4.6	4.7	5.3	5.5	11.5	12.2	7.5	4.7	4.0	5.0	6.4
2004	5.6	4.7	6.6	4.9	5.4	13.1	8.5	16.7	9.7	5.2	4.8	4.3	7.5
2005	4.9	4.8	4.0	5.0	6.1	7.3	12.4	12.0	11.3	4.7	4.9	3.5	6.7

SD: Meses sin datos velocidad media del viento

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 9
CORRECCIONES DE TEMPERATURA f(T) (°C)

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.7	13.8	13.5	13.7	13.6
1991	13.6	13.7	13.6	13.6	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.7	13.5	13.6
1992	13.7	13.6	13.7	13.7	13.6	13.8	13.6	13.6	13.5	13.6	13.6	13.6
1993	13.5	13.4	13.4	13.5	13.5	13.8	13.6	13.7	13.6	13.7	13.6	SD
1994	13.5	13.5	13.4	13.5	13.6	13.7	13.7	13.7	13.7	13.6	13.4	13.6
1995	13.7	13.6	13.6	13.7	13.6	13.7	13.6	13.6	13.7	13.6	13.4	13.4
1996	13.4	13.4	13.4	13.5	13.4	13.5	13.5	13.6	13.8	13.4	13.5	13.6
1997	13.4	13.5	13.6	13.6	13.7	13.6	13.7	13.9	13.8	13.8	13.6	13.8
1998	13.9	13.8	13.7	13.7	13.7	13.6	13.5	13.6	13.6	13.6	13.5	13.6
1999	13.4	13.3	13.4	13.5	13.4	13.4	13.6	13.6	13.4	13.5	13.5	13.3
2000	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.4	13.5	13.6	13.4	13.7	13.5	13.5
2001	13.4	13.6	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.8	13.5	13.8	13.6	13.6
2002	13.7	13.6	13.6	13.5	13.7	13.6	13.7	13.7	13.7	13.6	13.5	13.6
2003	13.6	13.7	13.5	13.6	13.6	13.5	13.6	13.7	13.6	13.5	13.5	13.5
2004	13.5	13.5	13.7	13.6	13.6	13.6	13.5	13.8	13.6	13.6	13.6	13.5
2005	13.5	13.6	13.5	13.6	13.6	13.6	13.7	13.8	13.7	13.6	13.6	13.4

SD: Meses sin datos de temperatura media

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 10
VALORES DE PRESIÓN SATURANTE DE VAPOR e_a (mbar)

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	17.5	16.9	17.0	17.2	17.1	17.8	18.3	16.5	17.5	17.3
1991	17.2	17.8	17.4	17.0	17.5	17.4	17.2	17.1	17.4	17.5	16.7	17.3
1992	17.9	17.4	18.0	17.6	16.9	18.5	17.1	17.3	16.8	17.2	17.0	17.3
1993	16.3	16.1	16.0	16.6	16.8	18.5	17.4	17.8	17.1	18.0	16.9	SD
1994	16.5	16.3	16.1	16.6	17.1	17.5	17.5	17.5	17.8	17.1	16.1	17.1
1995	17.5	17.3	17.1	17.6	17.0	17.6	17.1	17.4	18.0	17.2	16.2	16.0
1996	15.7	15.9	16.1	16.3	16.2	16.6	16.8	17.3	18.1	16.2	16.8	16.9
1997	15.9	16.8	17.4	16.9	17.6	16.9	18.0	18.7	18.2	18.1	16.9	18.2
1998	19.2	18.4	18.0	17.6	18.0	17.3	16.8	17.3	17.4	17.3	16.8	16.9
1999	16.2	15.5	16.1	16.5	16.1	15.7	17.0	17.0	15.7	16.3	16.6	15.6
2000	15.5	15.5	15.5	16.0	15.7	16.1	16.5	17.0	15.8	17.8	16.7	16.6
2001	15.8	16.9	16.3	17.0	17.0	17.2	17.2	18.3	16.7	18.5	17.0	17.4
2002	17.8	17.1	17.1	16.5	17.9	17.1	17.8	17.8	17.9	17.4	16.7	16.9
2003	17.2	17.5	16.5	17.0	16.9	16.3	17.2	17.9	17.1	16.6	16.7	16.6
2004	16.7	16.3	18.0	16.9	17.0	17.3	16.5	18.2	17.0	17.0	17.3	16.7
2005	16.8	17.1	16.5	17.0	17.1	17.2	17.6	18.2	17.9	16.9	17.2	15.8

SD: Meses sin datos de temperatura media

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 11
VALORES DE PRESIÓN DE VAPOR ed (mbar)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	13.0	13.1	SD	12.9	12.3	12.4	12.3	13.8	13.9	13.8
1991	13.8	13.8	14.6	13.9	14.0	13.7	11.8	11.1	12.1	12.3	13.5	14.0
1992	13.3	13.8	14.3	14.1	13.4	11.6	10.8	11.5	11.9	12.1	12.6	11.9
1993	12.4	12.6	12.4	13.4	13.0	11.9	11.5	11.0	13.6	14.0	13.7	SD
1994	12.0	12.2	12.4	12.6	12.9	11.3	10.8	10.8	11.5	11.9	12.2	12.2
1995	10.8	11.4	12.2	12.1	11.9	11.5	10.8	11.1	11.1	11.5	12.5	11.4
1996	12.0	12.0	12.8	12.8	12.7	11.6	11.1	10.6	11.1	11.8	10.7	12.4
1997	12.6	11.9	12.6	11.9	11.3	11.0	9.9	10.4	10.8	11.1	12.4	11.8
1998	11.5	12.2	12.4	13.6	11.9	10.7	9.8	9.8	10.2	10.8	12.4	10.9
1999	12.3	11.9	11.5	11.8	10.9	10.6	8.9	8.8	10.2	10.6	10.7	11.8
2000	10.7	11.1	11.5	11.8	11.6	10.6	9.2	9.2	10.6	9.9	10.1	10.0
2001	10.0	10.4	11.2	10.6	10.8	9.6	9.2	8.5	9.0	9.2	10.2	11.8
2002	10.2	10.6	11.3	11.7	10.5	9.3	9.2	9.5	9.0	10.4	10.6	11.0
2003	9.9	10.6	10.2	10.8	10.2	9.5	8.8	8.7	9.2	10.6	10.2	10.0
2004	9.7	9.6	9.6	10.6	10.7	8.3	8.6	8.2	8.7	10.2	10.5	10.3
2005	9.9	11.1	10.6	10.0	9.2	8.5	8.1	8.1	8.1	9.2	9.6	10.1

SD: Meses sin datos de temperatura de punto de rocío

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 12
VALORES DE CORRECCION DE PRESION DE VAPOR f(ed)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	0.181	0.181	SD	0.182	0.186	0.185	0.186	0.177	0.176	0.177
1991	0.177	0.177	0.172	0.176	0.175	0.177	0.189	0.194	0.187	0.186	0.178	0.175
1992	0.180	0.177	0.174	0.175	0.179	0.190	0.196	0.191	0.188	0.187	0.184	0.188
1993	0.185	0.184	0.185	0.179	0.181	0.188	0.191	0.194	0.178	0.175	0.177	SD
1994	0.187	0.186	0.185	0.184	0.182	0.192	0.195	0.196	0.191	0.188	0.186	0.186
1995	0.195	0.192	0.186	0.187	0.188	0.191	0.196	0.193	0.193	0.191	0.185	0.192
1996	0.187	0.187	0.182	0.182	0.183	0.190	0.193	0.197	0.193	0.189	0.196	0.185
1997	0.184	0.188	0.184	0.188	0.192	0.194	0.201	0.198	0.196	0.193	0.185	0.189
1998	0.191	0.186	0.185	0.178	0.188	0.196	0.202	0.202	0.200	0.195	0.185	0.195
1999	0.186	0.188	0.191	0.189	0.195	0.197	0.209	0.210	0.199	0.197	0.196	0.189
2000	0.196	0.194	0.191	0.189	0.190	0.197	0.207	0.206	0.197	0.202	0.200	0.201
2001	0.201	0.198	0.193	0.197	0.196	0.204	0.206	0.212	0.208	0.207	0.200	0.189
2002	0.199	0.197	0.192	0.190	0.197	0.206	0.206	0.205	0.208	0.198	0.197	0.194
2003	0.202	0.197	0.200	0.196	0.200	0.204	0.210	0.210	0.207	0.197	0.200	0.201
2004	0.203	0.204	0.204	0.197	0.196	0.213	0.211	0.214	0.210	0.199	0.197	0.199
2005	0.202	0.193	0.197	0.201	0.206	0.212	0.215	0.215	0.215	0.207	0.204	0.200

SD: Meses sin datos de temperatura de punto de rocío

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 13
VALORES DE CORRECCIÓN DE LA RELACIÓN DE HORAS REALES DE
FUERTE INSOLACIÓN SOBRE LAS MÁXIMAS POSIBLES f(n/N)

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.5	0.6	0.6
1991	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6
1992	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6
1993	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	SD
1994	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
1995	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6
1996	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.6
1997	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.5
1998	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6
1999	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	0.7	0.4	0.5	0.6	0.4
2000	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6
2001	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.7	0.7	0.8	0.5	0.7	0.5	0.5
2002	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
2003	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
2004	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.8	0.6	0.5	0.5	0.6
2005	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.4	0.6	0.4

SD: Meses sin datos de heliofanía

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 14
VALORES DE RADIACIÓN NETA EXPRESADOS EN LA EQUIVALENCIA
mm/día

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	1.31	SD	1.51	1.96	2.44	2.07	1.60	1.89	1.82
1991	1.97	2.10	1.50	1.66	0.10	1.79	1.61	1.92	1.81	1.71	1.47	1.93
1992	2.03	2.05	1.51	1.33	1.13	1.68	1.89	2.08	1.60	1.69	1.88	1.71
1993	1.66	1.67	1.16	1.52	1.38	1.99	1.89	2.16	1.83	1.92	1.58	SD
1994	1.59	1.48	1.13	1.41	1.32	1.66	1.99	1.85	2.14	1.84	1.45	1.45
1995	1.69	1.97	1.49	1.48	1.38	1.47	1.56	1.93	1.94	1.74	1.35	1.55
1996	1.15	1.11	1.22	1.46	1.45	1.27	1.81	1.93	2.09	1.50	1.94	1.86
1997	1.63	1.37	1.73	1.62	1.43	1.30	2.12	2.23	1.85	1.57	1.14	1.17
1998	1.64	1.43	1.29	1.35	1.21	1.27	1.42	1.59	1.48	1.51	1.68	1.76
1999	1.11	0.97	1.34	1.29	1.23	0.96	1.69	1.76	1.04	1.46	1.59	1.06
2000	1.36	1.49	1.14	1.26	0.98	1.27	1.57	1.71	1.43	1.91	1.59	1.55
2001	1.33	1.90	1.11	1.36	0.99	1.62	1.69	2.15	1.38	2.15	1.36	1.53
2002	1.84	1.46	1.15	1.34	1.37	1.62	1.70	2.09	1.95	1.64	1.31	1.37
2003	1.70	1.62	1.10	1.58	1.37	1.07	1.81	1.87	1.64	1.57	1.47	1.27
2004	2.03	1.49	1.59	1.31	1.40	1.53	1.31	2.11	1.55	1.55	1.46	1.59
2005	1.50	1.43	1.00	1.16	1.40	1.15	1.59	1.90	1.73	1.16	1.63	0.95

SD: Meses sin datos de temperatura de punto de rocío y/o temperatura media, heliofanía

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

TABLA 15
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (km/día)
ESTACIÓN: Tomalón Tabacundo MA2T (1990-2005)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	360.0	302.4	208.8	213.6	244.8
1991	184.8	189.6	144.0	151.2	160.8	163.2	295.2	405.6	321.6	280.8	136.8	194.4
1992	213.6	201.6	187.2	156.0	160.8	319.2	376.8	343.2	232.8	252.0	158.4	156.0
1993	163.2	148.8	163.2	117.6	134.4	300.0	297.6	408.0	204.0	208.8	124.8	SD
1994	127.2	120.0	112.8	132.0	124.8	225.6	362.4	312.0	343.2	127.2	100.8	112.8
1995	151.2	132.0	115.2	100.8	98.4	136.8	141.6	177.6	211.2	98.4	50.4	48.0
1996	36.0	69.6	48.0	57.6	69.6	74.4	146.4	201.6	170.4	74.4	108.0	124.8
1997	74.4	91.2	103.2	86.4	112.8	84.0	297.6	297.6	163.2	117.6	64.8	105.6
1998	129.6	93.6	79.2	50.4	112.8	115.2	127.2	141.6	122.4	108.0	79.2	91.2
1999	64.8	52.8	74.4	72.0	76.8	62.4	175.2	139.2	76.8	81.6	76.8	55.2
2000	74.4	69.6	57.6	57.6	50.4	88.8	158.4	201.6	79.2	156.0	100.8	110.4
2001	91.2	172.8	79.2	108.0	91.2	218.4	204.0	386.4	151.2	180.0	103.2	88.8
2002	141.6	110.4	91.2	76.8	165.6	292.8	249.6	364.8	223.2	165.6	117.6	153.6
2003	156.0	139.2	110.4	112.8	127.2	132.0	276.0	292.8	180.0	112.8	96.0	120.0
2004	134.4	112.8	158.4	117.6	129.6	314.4	204.0	400.8	232.8	124.8	115.2	103.2
2005	117.6	115.2	96.0	120.0	146.4	175.2	297.6	288.0	271.2	112.8	117.6	84.0

SD: Meses sin datos de velocidad media del viento

FUENTE: Anuarios meteorológicos. INAMHI 1990-2005

TABLA 16
VALORES DE LA FUNCION DEL VIENTO f(U)

Año\mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	1.242	1.086	0.834	0.847	0.931
1991	0.769	0.782	0.659	0.678	0.704	0.711	1.067	1.365	1.138	1.028	0.639	0.795
1992	0.847	0.814	0.775	0.691	0.704	1.132	1.287	1.197	0.899	0.950	0.698	0.691
1993	0.711	0.672	0.711	0.588	0.633	1.080	1.074	1.372	0.821	0.834	0.607	SD
1994	0.613	0.594	0.575	0.626	0.607	0.879	1.248	1.112	1.197	0.613	0.542	0.575
1995	0.678	0.626	0.581	0.542	0.536	0.639	0.652	0.750	0.840	0.536	0.406	0.400
1996	0.367	0.458	0.400	0.426	0.458	0.471	0.665	0.814	0.730	0.471	0.562	0.607
1997	0.471	0.516	0.549	0.503	0.575	0.497	1.074	1.074	0.711	0.588	0.445	0.555
1998	0.620	0.523	0.484	0.406	0.575	0.581	0.613	0.652	0.600	0.562	0.484	0.516
1999	0.445	0.413	0.471	0.464	0.477	0.438	0.743	0.646	0.477	0.490	0.477	0.419
2000	0.471	0.458	0.426	0.426	0.406	0.510	0.698	0.814	0.484	0.691	0.542	0.568
2001	0.516	0.737	0.484	0.562	0.516	0.860	0.821	1.313	0.678	0.756	0.549	0.510
2002	0.652	0.568	0.516	0.477	0.717	1.061	0.944	1.255	0.873	0.717	0.588	0.685
2003	0.691	0.646	0.568	0.575	0.613	0.626	1.015	1.061	0.756	0.575	0.529	0.594
2004	0.633	0.575	0.698	0.588	0.620	1.119	0.821	1.352	0.899	0.607	0.581	0.549
2005	0.588	0.581	0.529	0.594	0.665	0.743	1.074	1.048	1.002	0.575	0.588	0.497

SD: Meses sin datos de velocidad media del viento

FUENTE: FAO. Las necesidades de agua de los cultivos. Roma, 1990

ANEXO N° 4
FOTOGRAFIAS



Fotografías N° 1: Restos de camellones en la zona Nor-Oeste de Cayambe existentes hasta el año 1992.

Fuente: Agricultura Ancestral (Valdez, F., 2006).



Fotografía N° 2: Camellones en Paquiestancia. (Knapp G, 1992)



Fotografía N° 3: Sección de camellones, cubiertos de ceniza volcánica de una erupción del Quilotoa.

FUENTE: Alameda R., 1997



Fotografía N° 4: Zonas con erosión laminar intensa, para potencial aplicación de terrazas en la Comunidad Santa Rosa de Ayora.

FUENTE: Visitas de Campos, 2008



Fotografía N° 5: Zonas de variadas pendientes, para potencial aplicación de terrazas, camellones y albarradas.

FUENTE: Visitas de Campos, 2008



Fotografía N° 6: Prácticas de cultivo comunes de la comunidad (2008). Surcos en dirección de la pendiente y surcos en contorno.

FUENTE: Visitas de Campos, 2008