

CAPÍTULO V

OFERTA DE AGUA

Generalidades

La oferta hídrica por precipitación es la lluvia que al llegar a la superficie del terreno del predio, parcela o área de cultivo, parte de ella es interceptada por la vegetación (intercepción foliar), parte infiltra y se incorpora a la capa radical, parte percola debajo de las raíces del cultivo y parte escurre sobre la superficie del terreno. Ésta última porción de agua que, después de haberse precipitado sobre una cuenca y satisfecho las cuotas de evaporación del suelo, transpiración de la vegetación e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directamente al mar es llamada oferta hídrica superficial.

La finca “Las Calderas” cuenta con dos fuentes de suministro de agua. Una proviene de una microcuenca que está ubicada orográficamente frente a la finca. La otra, proviene del servicio del sistema de riego “El Riecito”, pero ésta última presenta irregularidades en cuanto al suministro de agua. Actualmente, el sistema “El Riecito” está colapsado, es decir, está fuera de funcionamiento, por lo que deja a la finca “Las Calderas” con una única fuente. Por lo tanto será la microcuenca abastecedora, la que será estudiada desde el punto de vista hidrológico para estimar la cantidad de agua que ésta pueda aportar. En términos generales, una cuenca o microcuenca según Trezza (1997) representa el área superficial que tiene capacidad, por condiciones topográficas, de recoger el agua de escurrimiento, esorrentía y precipitación y conducirla hacia un curso de agua.

De acuerdo con lo anterior, se decidió medir precipitaciones y caudales en la zona de estudio durante tres meses y medio para generar datos de dicha zona y así realizar una Curva de Duración de Caudales (C.D.C.). Esta curva permite estimar la oferta de agua por la microcuenca en cuestión.

Para llevar a cabo este estudio se realizaron las siguientes actividades:

5.1FASE DE CAMPO

5.1.1 Medición de precipitación

La precipitación es un factor climático que debe tenerse en cuenta para la realización de cualquier proyecto hidráulico. La lluvia, es uno de los parámetros que se utiliza para determinar el escurrimiento de agua en una cuenca o microcuenca, razón por la cual debe medirse para conocer el comportamiento de los ríos, quebradas o arroyos, y así saber la cantidad de agua que pueda tomarse de estas corrientes naturales para el desarrollo de cualquier proyecto o actividad agrícola.

Duque (1993) indica que la medición de la precipitación se fundamenta en el principio que la profundidad de agua observada durante un lapso de tiempo cualquiera, es la medida de la cantidad de lluvia producida por una tempestad, despreciándose las pérdidas.

Con el objeto de medir la altura de la lámina de agua, se utilizan diversos tipos de instrumentos con la condición que cualquiera que sea el instrumento utilizado represente siempre las condiciones estándar.

Para la medición de la precipitación se utilizó un pluviómetro artesanal, el cual fue elaborado con materiales sencillos. Éste se muestra en la Figura 5.1.

El embudo, que dirige el agua captada durante una tormenta, fue tomado de una botella plástica, a la que se le hizo un corte transversal.

Se utilizó una probeta calibrada en mililitros (ml) como componente del pluviómetro, éste con el fin de almacenar y medir la cantidad de agua recolectada por el embudo.

Finalmente se unió el embudo al cilindro, utilizando cinta adhesiva y un pegamento líquido, con el fin de evitar fuga de agua, impermeabilizando la zona de unión de estos dos componentes.

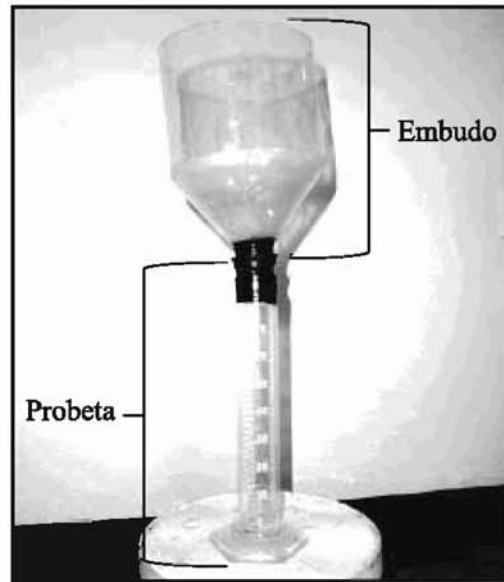


Figura 5.1: *Pluviómetro elaborado artesanalmente.*

En principio cualquier recipiente abierto de paredes verticales puede servir de pluviómetro, porque lo que interesa es retener el agua que precipita, para luego medirla.

Las dimensiones del aparato de medición pluviométrico construido cumple con las siguientes características:

- ∞ Perímetro interior del embudo (34,2cm).
- ∞ Área receptora del embudo 93,08 cm², hallada con la Ecuación 5.1.

$$\text{Área receptora} = \frac{\text{Perímetro}^2}{4 * \pi} \quad (5.1)$$

Instalación del instrumento de medición

Duque (1993) indica que la instalación de un pluviómetro, debe ser tal que se aseguren las siguientes condiciones:

- Que haya un flujo laminar a la entrada del pluviómetro.
- Que se evite cualquier influencia local sobre el pluviómetro.

- Que se reduzca al mínimo la fuerza con que el viento azota al pluviómetro.
- Que se evite que el agua al chocar con cualquier obstáculo, salpique y entre al pluviómetro.

Adicionalmente Chereque (1989) recomienda evitarse las instalaciones en los tejados y laderas con mucho viento. El mejor lugar para instalar un pluviómetro será aquel donde haya una superficie plana rodeada con arbustos o árboles que sirvan de protectores contra el viento, pero estos no deben estar tan cerca al pluviómetro que lo obstruyan.

Para la ubicación del pluviómetro utilizado, se siguió las indicaciones de ambos autores.

Recolección de datos pluviométricos

Se recolectó información pluviométrica utilizando el pluviómetro construido para tales fines, durante tres meses y medio, en los cuales un observador se encargó de llevar el registro diario de los datos de precipitación. En caso que éste haya captado agua precipitada de alguna tormenta, ésta se registraba en una libreta de notas, realizando una lectura en milímetros (ml) a través del cilindro almacenador (probeta).

Determinación de precipitación

Con los datos recabados de precipitación en el aparato construido se procedió al cálculo de lámina de agua precipitada, la cual se expresa en milímetros (mm) para un mejor manejo de datos. Éste cálculo se hace partiendo del dato de volumen recolectado en el pluviómetro y de ésta manera transformar éste valor de volumen partiendo de lo siguiente:

$$\text{volumen} = \text{área} * \text{altura} \quad (5.2)$$

El volumen tiene unidades de longitud al cubo; el área en longitud al cuadrado; y la altura en longitud:

$$\text{volumen (L}^3\text{)} = \text{área (L}^2\text{)} * \text{altura (L)} \quad (5.3)$$

En la Ecuación 5.4, a la altura se le denomina lámina de agua precipitada, despejando ésta queda:

$$\text{altura (L)} = \frac{\text{volumen (L}^3\text{)}}{\text{área (L}^2\text{)}} \cdot \text{lámina (L)} = \frac{\text{volumen (L}^3\text{)}}{\text{área (L}^2\text{)}} \quad (5.4)$$

Como las mediciones o lecturas de volumen de agua almacenada en el cilindro graduado (probeta) fueron tomadas en milímetros (ml), o lo que es lo mismo, centímetros cúbicos (cm^3) y, el área del embudo del pluviómetro artesanal en centímetros cuadrados (cm^2), se procedió a determinar de la siguiente manera la lámina de agua:

$$\text{Lámina} = \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2} = \text{cm} \quad (5.5)$$

Pero como se dijo anteriormente, la lámina de agua se expresa en mm. Para la transformación de centímetros a milímetros se realiza la siguiente equivalencia:

1 cm = 10 mm, quedando así:

$$\text{Lámina} = \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2} \right) * \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \right) = \text{mm} \quad (5.6)$$

En la Tabla 5.1 se muestran los datos de los días efectivos de registro.

Calibración del pluviómetro artesanal

Según la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.) el área estándar de un pluviómetro es de 200 cm^2 , área que no tiene el pluviómetro artesanal, por lo que se realizó una prueba para medir el nivel de confianza de las mediciones hechas en el área de estudio con éste instrumento.

Tabla 5.1: Datos de precipitación de los días efectivos de registro.

Fecha	Volumen Recolectado (cm ³)	Área del embudo recolector (cm ²)	Lámina (mm)
10-nov-11	34	93,08	3,653
11-nov-11	24		2,579
12-nov-11	41		4,405
13-nov-11	10		1,074
14-nov-11	8		0,860
16-nov-11	45		4,835
18-nov-11	48		5,157
19-nov-11	87		9,347
20-nov-11	35		3,760
21-nov-11	58		6,231
22-nov-11	12		1,289
27-nov-11	12		1,289
28-nov-11	11		1,182
Noviembre =			45,661
01-dic-11	20	93,08	2,149
02-dic-11	25		2,686
03-dic-11	214		22,992
06-dic-11	36		3,868
07-dic-11	150		16,116
11-dic-11	18		1,934
16-dic-11	52		5,587
23-dic-11	19		2,041
Diciembre =			57,372
06-ene-12	220	93,08	23,636
15-ene-12	120		12,893
19-ene-12	23		2,471
24-ene-12	192		20,628
30-ene-12	6		0,645
Enero =			60,273
12-feb-12	57	93,08	6,124
Febrero =			6,124

Para realizar la calibración, se contó con los siguientes materiales:

- ∞ Envase de área recolectora similar al área de un pluviómetro estándar (Figura 5.2). A éste envase se le llamó envase A.
- ∞ Pluviómetro artesanal (Figura 5.1).
- ∞ Aspersor de giro mecánico (que toma energía para girar por medio de la presión del líquido previo a su expulsión).



Figura 5.2: *Envase A.*

La prueba consistió en exponer el envase A y el pluviómetro artesanal a una lluvia artificial y controlada generada por el aspersor de giro mecánico. El aspersor está diseñado para regar de manera uniforme en su radio de influencia, por lo que se asegura que ambas áreas recolectoras estuvieron expuestas a una misma condición.

La posición de los envases recolectores fueron los siguientes:

- ∞ 30 cm de distancia entre sí.
- ∞ 600 cm de distancia de ambos con respecto al aspersor (Figura 5.3).

El área del envase A se halló de la siguiente manera:

- ∞ Se midió el perímetro interior del área receptora de envase A (52 cm).
- ∞ Se calculó el área receptora del envase A utilizando la Ecuación 5.1.

Se realizaron 7 simulaciones, es decir, 7 lecturas de lámina de agua captada por el envase A y el pluviómetro artesanal. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 5.2.

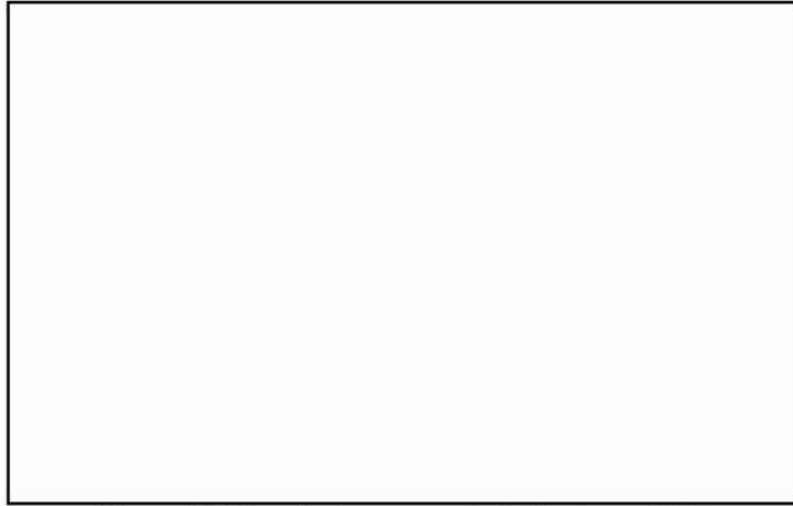


Figura 5.3: Prueba de captación de lluvia artificial.

Tabla 5.2: Datos de prueba del nivel de confianza.

Simulación	Volumen recolectado [cm ³]		Área recolectora [cm ²]	
1	12	28	93,08	215,177
2	15	35		
3	42	99		
4	24,5	56		
5	27	65		
6	21,5	50		
7	21,5	51		
	Pluviómetro Artesanal	Envase A	Pluviómetro Artesanal	Envase A

Debe decirse que el área recolectora del Envase A varía por encima con respecto al área recolectora de un pluviómetro estándar en un 7,59 %, diferencia que en la práctica es despreciable.

La prueba mostrada anteriormente también puede realizarse con lluvia natural (precipitación meteorológica).

En la tabla 5.3 se presentan los resultados de la calibración.

Tabla 5.3: Resultandos de la calibración.

Simulación	Lámina de agua captada [mm]	
1	1,29	1,301
2	1,61	1,63
3	4,51	4,60
4	2,63	2,60
5	2,90	3,02
6	2,31	2,32
7	2,31	2,37
	Pluviómetro Artesanal	Envase A

Una vez que se obtuvo estos resultados, se continuó a estimar un factor de corrección, llamado U, para ajustar los datos obtenidos con el pluviómetro artesanal con respecto a los datos obtenidos con el envase A. Esto con la finalidad de simular una captación de agua de un pluviómetro de área recolectora similar a la estándar.

Como ambos recipientes estuvieron sometidos a la misma condición, se planteó:

$$\text{Lámina}_{\text{envase A}} = \text{Lámina}_{\text{Pluviómetro artesanal}} * U \quad (5.7)$$

Despajando el factor de corrección U, quedó:

$$U = \frac{\text{Lámina}_{\text{envase A}}}{\text{Lámina}_{\text{Pluviómetro artesanal}}} = \frac{\text{mm}}{\text{mm}} \rightarrow \text{adimensional} \quad (5.8)$$

Los resultados del cálculo del factor de corrección U se muestran en la Tabla 5.4.

Se observa en la Tabla 5.4 que el factor de corrección se aproxima a 1, esto quiere decir, que existe una similitud bastante alta entre ambos envases de medición de precipitación, lo que demuestra que la diferencia, en la práctica, es despreciable.

Tabla 5.4: Obtención del factor de corrección U.

Simulación	Lámina de agua captada [mm]		Factor de corrección U [mm/mm]
1	1,29	1,301	1,01
2	1,61	1,63	1,01
3	4,51	4,60	1,02
4	2,63	2,60	0,99
5	2,90	3,02	1,04
6	2,31	2,32	1,01
7	2,31	2,37	1,03
Pluviómetro Artesanal		Envase A	
Promedio de U = 1,014			

5.1.2 Medición de caudal

Trezza (1997) indica que en los proyectos agrícolas es de suma importancia el conocimiento de la disponibilidad de agua superficial o escorrentía que drena una cuenca determinada.

Aforo en la quebrada de la microcuenca “A”

Los aforos se realizaron a la altura del punto actual de toma de agua de la finca “Las Calderas”, ya que interesa estimar la cantidad hídrica que escurre superficialmente por este lugar. A este punto de aforo se le llamó punto de aforo 1.

Este punto está una altitud de 1384,4 m.s.n.m. entre las coordenadas UTM 345832,44 Este y 1034225,97 Norte (Figura 5.4). Este cumplió con las siguientes características:

- ∞ Las captaciones de agua existentes se ubican aguas abajo.
- ∞ Existencia de una estructura tipo vertedero (Figura 5.5), que se usó como instrumento para facilitar las mediciones.
- ∞ Fácil acceso.

A partir de éste punto de aforo se delimitó la microcuenca, trazando la divisoria o parte aguas con ayuda del programa de diseño asistido por computadora Autodesk AutoCAD 2007. La estimación de la superficie de ésta microcuenca se realizó, igualmente, con la ayuda de dicho programa. Para efectos prácticos, se le denominó microcuenca "A" a ésta formación geológica.

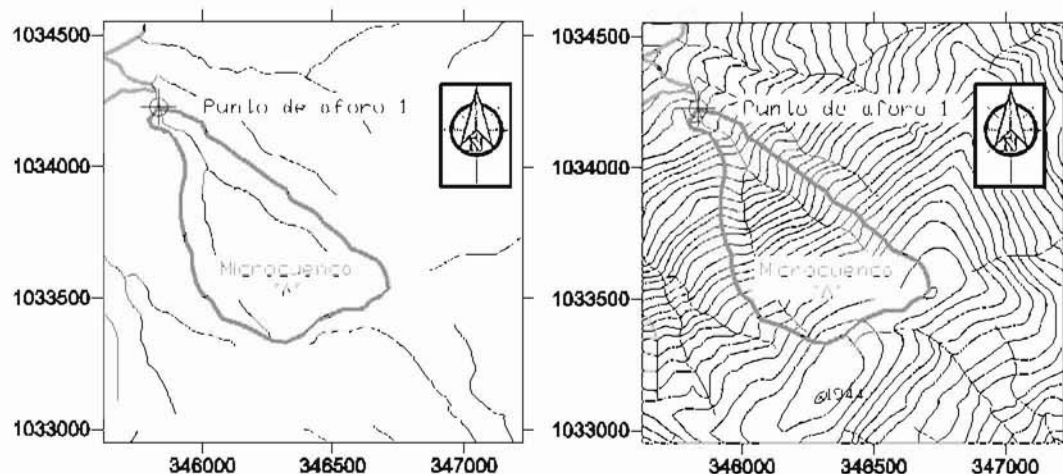


Figura 5.4: Punto de aforo 1 y delimitación de la microcuenca "A".

El área de la microcuenca "A" resultó 376983,2151 m², ó 37,689 ha, o lo que es igual 0,377 km² aproximadamente.



Figura 5.5: Estructura tipo vertedero.

Al existir esta estructura, y combinado con la poca cantidad de agua que escurre por ese curso de agua, se decidió utilizar el **método volumétrico**, idóneo para estos casos. Además, según Trezza (1997) éste método es uno de los mejores en cuanto a precisión de aforos se refiere.

Para llevar a cabo la medición, se contó con las siguientes herramientas:

- ∞ Recipiente con capacidad de 20 litros.
- ∞ Regla graduada en centímetros y milímetros.
- ∞ Cronómetro.
- ∞ Nivel de mano.
- ∞ Tabla rectangular plana.
- ∞ Libreta de notas.

Las dimensiones del recipiente se muestran en la Figura 5.6.

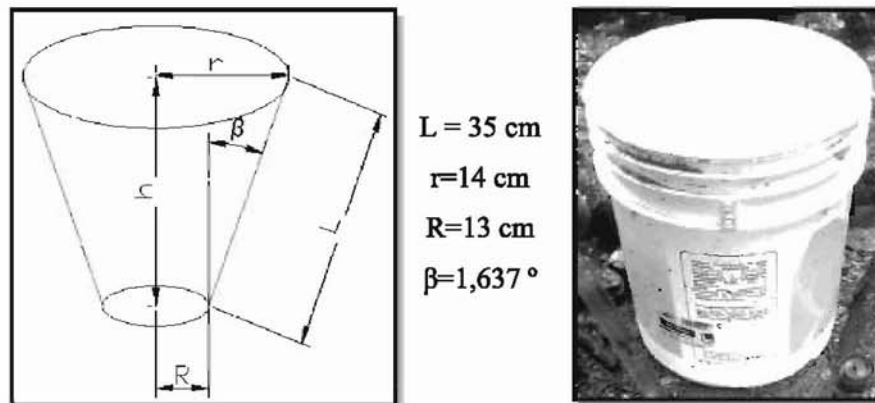


Figura 5.6: Dimensiones del recipiente. Método volumétrico.

La medición consistió en recolectar toda el agua de la corriente en el recipiente indicado, midiendo el tiempo de llenado del mismo con la ayuda del cronómetro. Luego en una tabla, previamente instalada y nivelada, ubicada al margen de la quebrada, se colocaba el recipiente para conocer la altura inclinada de agua recolectada midiendo la variable L tal como se muestra en la Figura 5.7.



Figura 5.7: *Medición de la altura inclinada de agua recolectada.*

Conocida ésta variable, se determinó el volumen de agua a través del cálculo de áreas que me muestran en la Figura 5.8. Éstas se calcularon con la ecuación de área de un círculo (Ecuación 5.9).

$$\text{Área} = \pi * \text{Radio}^2 \quad (5.9)$$

Radio para cada área:

$$\text{Para el área 1} \rightarrow \text{Radio}_1 = R \quad (5.10)$$

$$\text{Para el área 2} \rightarrow \text{Radio}_2 = (\text{Seno } \beta * L) + R \quad (5.11)$$

El área 3 se calculó restándole al área 2 el área 1:

$$\text{Área}_3 = \text{área}_2 - \text{área}_1 \quad (5.12)$$

Conocidas las áreas, se calculó los volúmenes indicados realizando lo siguiente:

$$\text{Volumen 1} = \text{Área 1} * (\text{Coseno } \beta * L) \quad (5.13)$$

$$\text{Volumen 2} = \frac{A_3 * (\text{Coseno } \beta * L)}{2} \quad (5.14)$$

El volumen total del recipiente se halló sumando el volumen 1 y volumen 2.

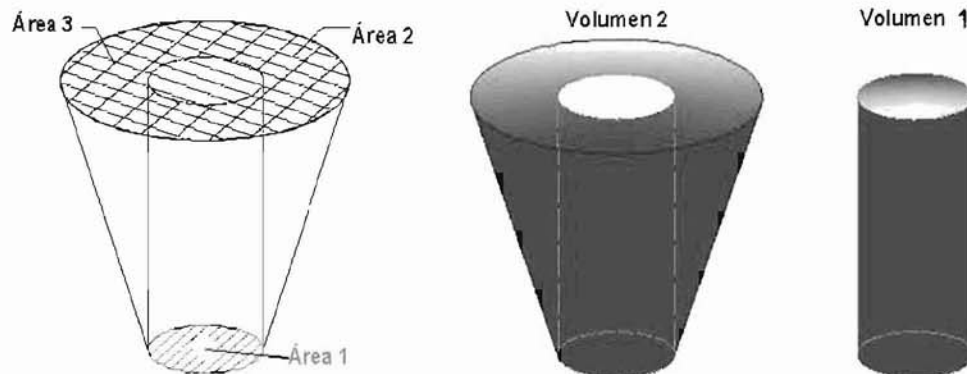


Figura 5.8: *Indicación de las áreas y volúmenes del recipiente.*

Finalmente, el caudal o gasto (Q) se calculó con la Ecuación 5.15.

$$Q = \frac{\text{Volumen total del recipiente}}{\text{Tiempo de llenado}} \quad (5.15)$$

El volumen fue calculado en litros (l) y el tiempo de llenado en segundos (s), para obtener el caudal en litros por segundos (l/s).

Los resultados de los aforos, obtenidos una vez aplicada la metodología anteriormente descrita para cada día de aforo, se muestran en el Apéndice B.1.

Cabe destacar que cada dato obtenido es el promedio de 6 a 8 repeticiones que se realizaron para cada medición, ya que esto mitiga el error que pueda cometer la persona al momento de realizar los aforos.

Es necesario indicar que aguas arriba del punto de aforo 1 existen dos captaciones de agua, las cuales fueron aforadas separando la tubería de aducción en una junta y, con un recipiente (graduado) usando el método de aforo volumétrico, se conoció el caudal captado. El resultado fue de 0,19 l/s en ambas tuberías, para un total de 0,38 l/s entre las dos derivaciones.

Aforo en la quebrada de la microcuenca “B”

Los propietarios de la finca “Las Calderas” no son los únicos en aprovechar la fuente de agua proveniente de la microcuenca “A” para la captación de agua. Debido a la calidad de la fuente y a su accesibilidad, algunos habitantes y vecinos de la zona también se benefician de ella. Éstos utilizan, como prioridad, el recurso para uso doméstico o consumo humano y de manera opcional, para el riego de algunas parcelas.

Es por ello, que cabe plantear la hipótesis que en algún momento determinado la fuente podría mitigarse hídricamente a tal punto que la captación de agua quedaría limitada sólo para el consumo humano.

Es necesario destacar que si la finca “Las Calderas” en estos momentos se encontrara bajo explotación agrícola, bajo ningún concepto podría faltar el recurso hídrico, ya que podría retrasar o interrumpir el desarrollo de dichas actividades. Para conocer las disponibilidades del recurso, se planteó hacer mediciones de caudales, de manera paralela al punto de aforo 1, aguas abajo del punto mencionado de medición y de ésta forma obtener un valor bastante aproximado de la cantidad de agua con que se cuenta.

Se analizó la carta nacional 6144CSO a escala 1:25000, tomando algunas alternativas para el segundo punto de aforo, al que se le llamó punto de aforo 2, el cual se terminó de concretar al realizar un recorrido por la zona.

A medida que se desciende, es decir, ir aguas abajo a lo largo del cauce, el área captadora (área de microcuenca) de la corriente de agua irá aumentando. Esto es precisamente lo que se deseaba conseguir, ubicar un punto de la corriente superficial donde su caudal fuese superior al que escurre por el punto de aforo 1. Es por ello que el segundo punto de aforo se ubicó a 1288 m.s.n.m., entre las coordenadas UTM 345521,29 Este y 1034402,7Norte. Éste nuevo punto está dentro de los terrenos de la finca “Las Calderas” y, a partir de éste, se delimitó el área de la microcuenca “B” en la que está dicho punto, y dentro de la cual se encuentra ubicada parte de la finca objeto de éste estudio (Figura

5.9). El área aproximada de la microcuenca "B" se estimó en 2214992,2019 m², ó 221,499 ha, o lo que es igual 2,215 km².

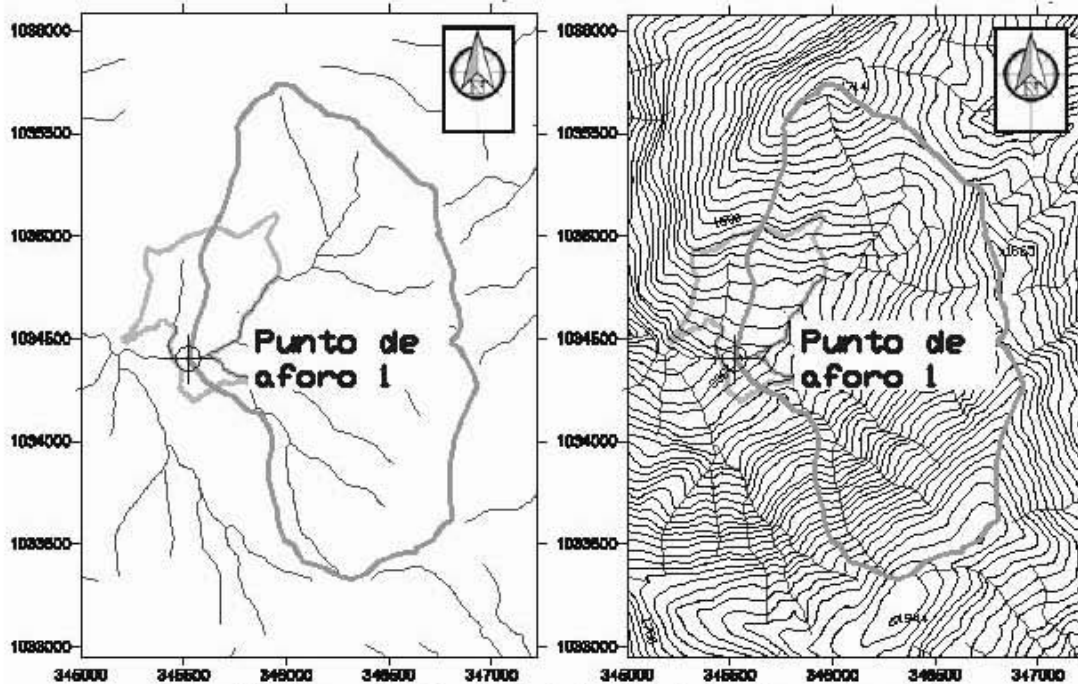


Figura 5.9: Punto de aforo 2 y delimitación de la microcuenca "B".

En el punto de aforo 2 se realizaron mediciones a través del método del flotador, ya que para las condiciones de campo resultó ser el más conveniente.

Para llevar a cabo éste método, previamente se realizaron los siguientes pasos:

- ∞ Se seleccionó un tramo de la quebrada, que fuese, en lo posible, aproximadamente recto y de sección constante.
- ∞ Se midió la distancia entre el punto inicial del tramo y el punto final, situados aguas arriba y abajo respectivamente (1,57 m). Figura 5.10.

Los aforos se realizaron de la siguiente manera, utilizando como instrumentos una cinta métrica, una cajeta plástica como flotador, un cronómetro y una libreta de notas:

- ∞ Para cada medición, se levantó la sección transversal del cauce para llevar un registro del área de flujo.
- ∞ Se colocó el objeto flotante sobre la superficie del agua en el punto inicial del tramo, dejándose arrastrar por la corriente hasta el punto final del tramo cada vez que se realizaba una prueba.
- ∞ Se tomó el tiempo de recorrido por el flotador cada vez que se realizaba una prueba.



Figura 5.10: Tramo donde se aplicó en método del flotador.

La velocidad superficial (V_s) la define la longitud del tramo y el tiempo del recorrido por el flotador:

$$V_s = \left(\frac{\text{Longitud del tramo}}{\text{Tiempo}} \right) \quad (5.16)$$

Posteriormente, el caudal (Q) de la quebrada lo determina el área de flujo (A), perpendicular a la corriente, y la velocidad superficial (Vs). De acuerdo a la ecuación de continuidad (Ecuación 5.17).

$$Q = V_s * A \quad (5.17)$$

Los resultados de los aforos, obtenidos una vez aplicada la metodología anteriormente descrita para cada día de aforo, se muestran en el Apéndice B.1.

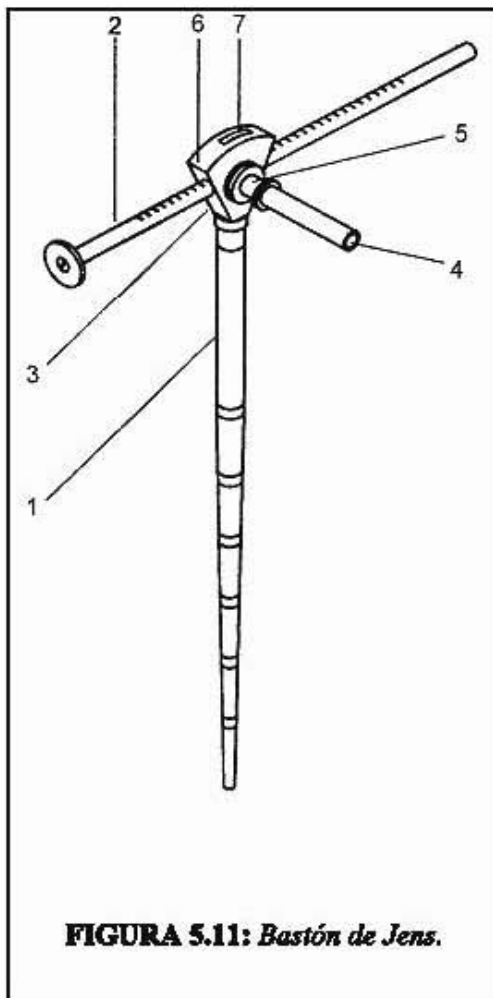
Confiabilidad de datos recolectados por el método del flotador

Para determinar la confiabilidad del método de aforo del flotador, se utilizó el instrumento de aforo llamado **Bastón de Jens**, facilitado por el profesor Luis Mora (C.I.D.I.A.T. - U.L.A.), para lo cual se realizaron mediciones simultáneas con ambos métodos día por medio durante una semana en la segunda quincena del mes de febrero. Del resultado de estas pruebas se pudo calcular un factor de rectificación con la finalidad de aplicarlo a los valores recabados en campo anteriormente, y así obtener resultados más cercanos a la realidad (más confiables).

La comparación de métodos se realizó los días 14, 16 y 18 de febrero del 2012, con el fin de obtener varias mediciones y así asegurar la confianza de los resultados.

El día 14 de febrero, en el punto de aforo 2, se cumplió con la primera comparación. En esta se procedió a medir el caudal de la corriente de agua por el método del flotador cuyo procedimiento ya se explicó anteriormente. Posteriormente se midió con el Bastón de Jens, tomando para esto, la misma sección transversal del cauce que se usó para el método del flotador.

Según el documento Bastón de Jens citado por Rodríguez y Ruíz (2008) éste fue diseñado para la determinación rápida y segura de la cantidad de agua que pasa por una sección de descarga.



El Bastón de Jens está diseñado siguiendo el principio de equilibrio de momento de rotación. Las fuerzas que funcionan sobre la barra de medición (1) producen un momento que da vuelta y mueve la barra de medición lejos de la línea vertical. Mediante una barra de peso ajustable (2) se hace girar la barra de medición (1) hasta volver a la línea vertical (Rodríguez y Ruíz, 2008). Se toman los datos:

- ∞ El número leído en la división sobre la barra de peso (2).
- ∞ Profundidad de inmersión de la barra de medición (1).

Con estos datos, se calcula la velocidad promedio en las líneas de medición individuales.

Para un ancho de aproximadamente 50 cm, la velocidad de flujo media de la línea vertical fue determinada en 10 cm (intervalos). Para llevar a cabo este último tipo de aforo, se siguió el procedimiento indicado por Rodríguez y Ruíz (2008):

1. Con el instrumento a la mano, se tomó la posición de modo que un hombro señale corriente arriba y el otro corriente abajo.
2. La barra de medición se sumerge en la primera línea de medición vertical hasta que su punta toque el lecho del cauce. Luego, el instrumento se levanta un poco para que la barra de medición pueda balancearse libremente. Se debe tener

prudencia que la manija (4) forme un ángulo recto a la dirección del flujo (paralela a la cinta de medición del área transversal).

3. La manija es girada hasta que la burbuja de nivelación (7) indique que la barra de medición esté perpendicular a la horizontal. El anillo que se cierra (4), es girado en el sentido de las agujas del reloj sin hacer girar la manija; esto cierra la barra de peso (5) en su posición.
4. Después que la profundidad de inmersión es leída de la barra de medición, el Bastón de Jens se retira del agua para anotar el valor de escala de lectura en el borde (6).
5. Se anotan los valores de “la profundidad” y “la escala” así como el “ancho” en la línea de medición vertical.
6. Los pasos 3 a 5 se repiten para el resto de las mediciones subsiguientes de las verticales, hasta llegar al banco (orilla) opuesto. Esto completa la operación de medición.

La velocidad media parcial (cm/s) se estimó a través de la siguiente expresión:

$$V_{m_i} = 52,71962 * \sqrt{\frac{\text{Escala}}{\text{Profundidad}}} \quad (5.18)$$

La profundidad debe ingresarse en centímetros (cm) para obtener la velocidad parcial en las unidades indicadas.

Finalmente, el caudal se determina con Ecuación (5.19).

$$Q = (V_{m_1} * A_1) + (V_{m_2} * A_2) + \dots + (V_{m_n} * A_n) \quad (5.19)$$

Donde:

Q: Caudal que circula por el cauce aforado.

A_n : Área parcial transversal de flujo circulante.

V_{m_n} : Velocidad media parcial de flujo.

Se realizó éste mismo procedimiento para los días 16 y 18 de febrero del 2012.

Una vez obtenidos los resultados de aforos por ambos métodos, se procedió a estimar un factor de rectificación llamado S, para verificar la similitud de resultados entre estos métodos.

Como ambos métodos se realizaron bajo las mismas condiciones se planteó lo siguiente:

$$Q_{\text{Bastón de Jens}} = Q_{\text{Flotador}} * S \quad (5.20)$$

$$S = \frac{Q_{\text{Bastón de Jens}}}{Q_{\text{Flotador}}} \quad (5.21)$$

Donde:

$Q_{\text{Bastón de Jens}}$: Caudal hallado con el Bastón de Jens.

Q_{Flotador} : Caudal hallado por el método del flotador

S: Factor de rectificación. Adimensional ($\text{l.s}^{-1}/\text{l.s}^{-1}$)

Los resultados de los aforos realizados los días 14, 16 y 18 de febrero del 2012 se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla5.5: Comparación de aforos y su respectivo factor de rectificación.

Fecha	Caudal (l/s) Método del flotador	Caudal (l/s) Bastón de Jens	Factor de rectificación
14-feb-12	29,22	22,72	0,78
16-feb-12	18,95	12,71	0,67
18-feb-12	16,54	11,64	0,70
Promedio de S =			0,72

Este factor indica que existe diferenciación entre los 2 métodos. Por lo que se afectaron todos los cálculos de caudal realizados por el método del flotador por este factor y así compensar la diferencia, además de mitigar incertidumbre de mediciones.

Los registros realizados en el punto de aforo 2, afectados por el factor S, se muestran en el Apéndice B.2.

5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

En ingeniería se acostumbra dar diferentes alternativas a los problemas que se presenten, es por ello que acá se presenta 2 alternativas para el suministro de agua para fines de riego a la finca “Las Calderas”.

La primera alternativa consiste en conocer la cantidad de agua proveniente de la microcuenca “A” para fines de riego.

La segunda alternativa nace de la hipótesis, ya explicada, en caso de disminuir el agua en la microcuenca “A”, a tal punto que el caudal sea mínimo, extraer agua de la Microcuenca “B”, que a su vez la compone la microcuenca “A”.

5.2.1 Curva de Duración de Caudales (C.D.C.)

Según Rodríguez y Ruíz (2008) la curva de duración de caudales es la representación de la probabilidad que cierto caudal pase en un determinado porcentaje de tiempo.

C.D.C. aplicada a la microcuenca “A”

Ésta se graficó con los datos de aforos del Apéndice B.1 realizado en el punto de aforo 1 de la microcuenca “A”, utilizando el software “Modelo AJUSTEHU”, desarrollado por el profesor Roberto Duque. Según Duque (2003) éste es un modelo desarrollado para el ajuste de una serie de datos a una distribución estadística, que está escrito en lenguaje FORTRAN y permite ajustar seis de las distribuciones más importantes usadas en

hidrología: Distribución Normal, Distribución Log Normal, Distribución Extrema Tipo I, Distribución Log Extrema Tipo I, Distribución Pearson III y Distribución Log Pearson III.

En el Apéndice B.3 se muestra la salida (corrida) del programa del profesor Duque, resultando el mejor ajuste para la distribución teórica Log-Gumbel, hallando la probabilidad empírica a través de la ecuación de Weibull.

Con los datos arrojados por el software “Modelo AJUSTEHU”, se realizó la C.D.C. para la microcuenca “A”.

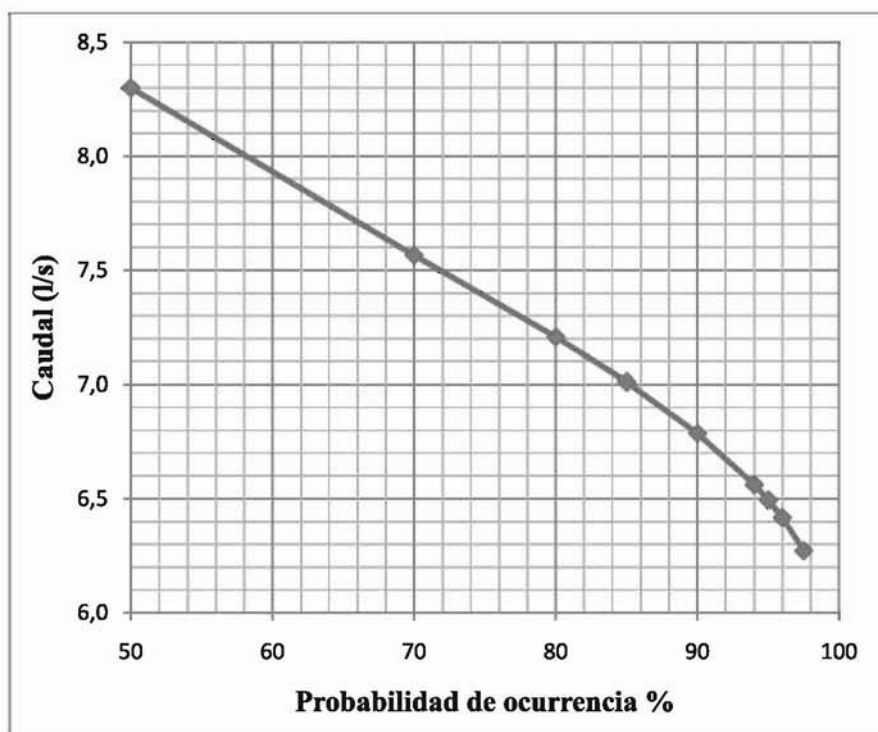


Figura 5.12: *Curva de duración de caudales para la microcuenca “A”.*

Se muestra que para un 95 % de probabilidad se tendrá un caudal de 6,49 l/s.

También se usó la ecuación de Cunnane para efectos de comprobación, proyectando los mismos resultados con lo que respecta a datos a usar en la construcción de la Curva de Duración de Caudales.

Curva de duración de caudales aplicada a la microcuenca “B”

Esta se graficó con los datos de aforos mostrados en el Apéndice B.2 realizado en el punto de aforo 2 de la microcuenca “B”. Para ello se realizó el mismo proceso descrito para hallar la C.D.C. para la microcuenca “A”.

En el Apéndice B.3 se muestra la salida (corrida) del programa del profesor Duque, resultando el mejor ajuste para la distribución teórica Log-Gumbel, hallando la probabilidad empírica a través de la ecuación de Weibull.

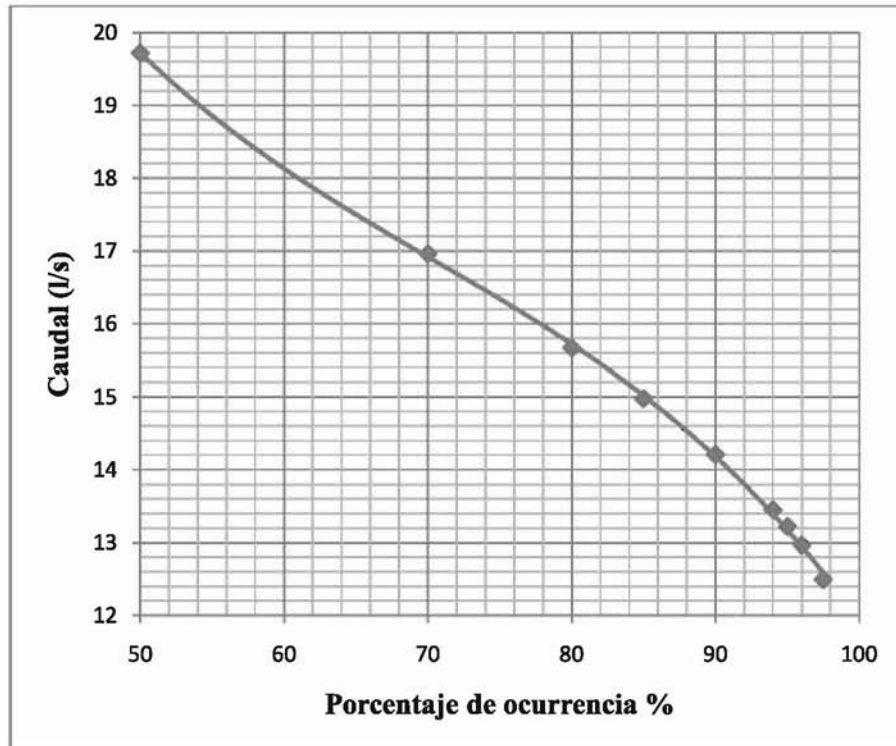


Figura 5.13: Curva de duración de caudales para la microcuenca “B”.

Se muestra un caudal de 13,46l/s para una probabilidad de ocurrencia de 95%.

Los valores que se usaron para calcular la disponibilidad de las microcuencas “A” y “B” se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6: Resumen de caudales (Q) para 95, 80 y 50 % de probabilidad.

Microcuenca	$Q_{95\%}(l/s)$	$Q_{80\%}(l/s)$	$Q_{50\%}(l/s)$
"A"	6,49	7,2	8,30
"B"	13,46	15,97	20,12

5.2.2 Relación precipitación-escorrentía

Esta relación se representa en la Figura 5.14 generada con valores de precipitación recolectados con el pluviómetro artesanal y caudales obtenidos en los dos puntos de aforo (1 y 2) durante un período de tiempo común.

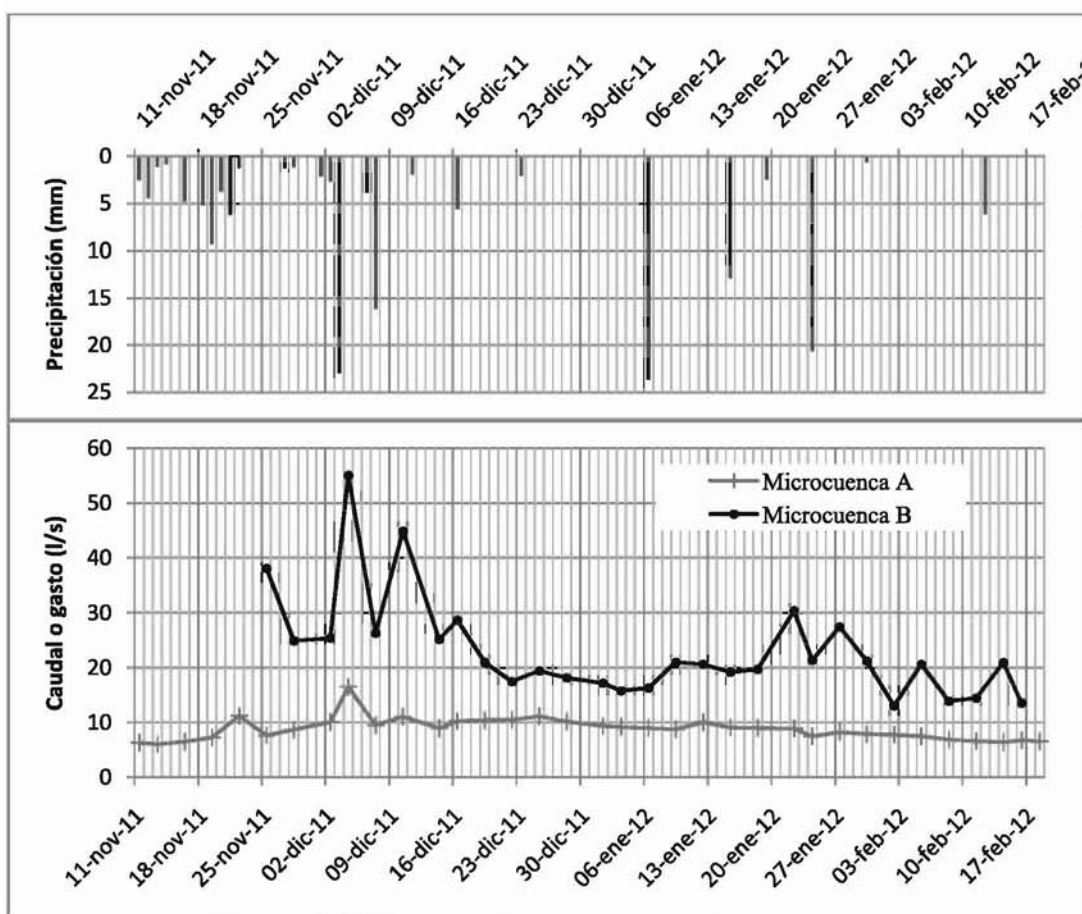


Figura 5.14: Gráfico relación precipitación-escorrentía.

Cabe agregar que todas las mediciones de caudales se realizaron antes de las tormentas.

5.3 AJUSTE DE RESULTADOS

5.3.1 Ajuste del caudal de producción

El caudal en una corriente de agua tiene su comportamiento de acuerdo a la precipitación en su cuenca, esto se ilustra en el Figura 5.14. Existen temporadas más lluviosas que otras, por lo que las corrientes de agua variaran de acuerdo a esto. Esas temporadas se diferencian entre años secos y años húmedos.

El caudal con un 95 % de ocurrencia anteriormente obtenido, debe corregirse, ya que interesa conocer el caudal, para ese mismo porcentaje de ocurrencia, para un año o período seco. Para determinar el tipo de período (húmedo o seco) fue el que transcurrió durante las mediciones de campo, se procedió a corregir el caudal, realizando lo siguiente:

Comparación de datos obtenidos en campo con datos de estaciones vecinas:

Los datos obtenidos en campo durante tres meses y medio se compararon con los de las estaciones vecinas para el mismo período, es decir, desde el 01/11/11 a 18/02/12. Los datos pluviométricos diarios registrados por dichas estaciones se muestran en el Apéndice B.4.

Tabla 5.7: *Precipitación (mm) durante tres meses y medio de estaciones vecinas y del área de estudio.*

Estación	Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	Hasta el 18 de Febrero
La Cristalina		150,4	86,4	--	--
Trujillo - Licco		31,1	40	42,3	--
San Lázaro		104,6	60,2	--	--
Santiago de Trujillo		165,1	52,9	--	--
Las Calderas		45,7	57,9	60,8	6,2

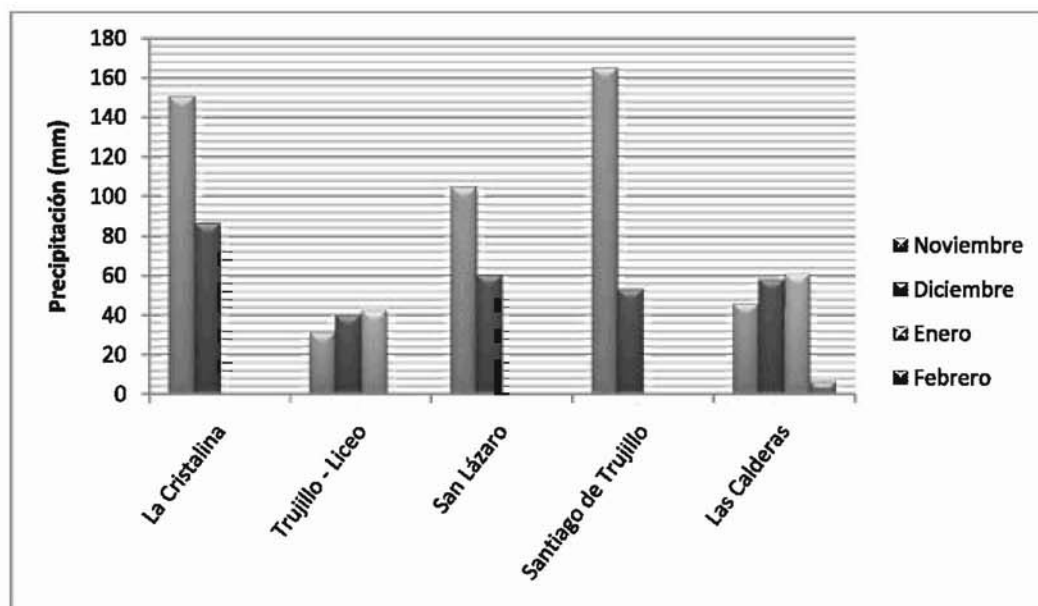


Figura 5.15: Precipitación desde el 01/11/11 a 18/02/12 de estaciones vecinas y del área de estudio.

Esta última figura muestra la relación entre las estaciones en cuanto a cantidad de agua de lluvia precipitada se refiere.

El régimen de lluvias que registró la estación Trujillo-Liceo es muy parecida a la registrada en la finca “Las Calderas”, lo que permite tomar ésta como estación de referencia debido a la gran similitud que existe en cuanto a la morfología de registro.

Corrección del caudal

En el Apéndice B.5 se muestra las precipitaciones anuales desde el año 1968 a 2011 registrada en la estación Trujillo-liceo. Ésta fue utilizada para comparar visualmente la precipitación de unos años y otros y así determinar años húmedos (precipitación por encima de la media) y años secos (precipitación por debajo de la media) a través del gráfico mostrado en la Figura 5.16.

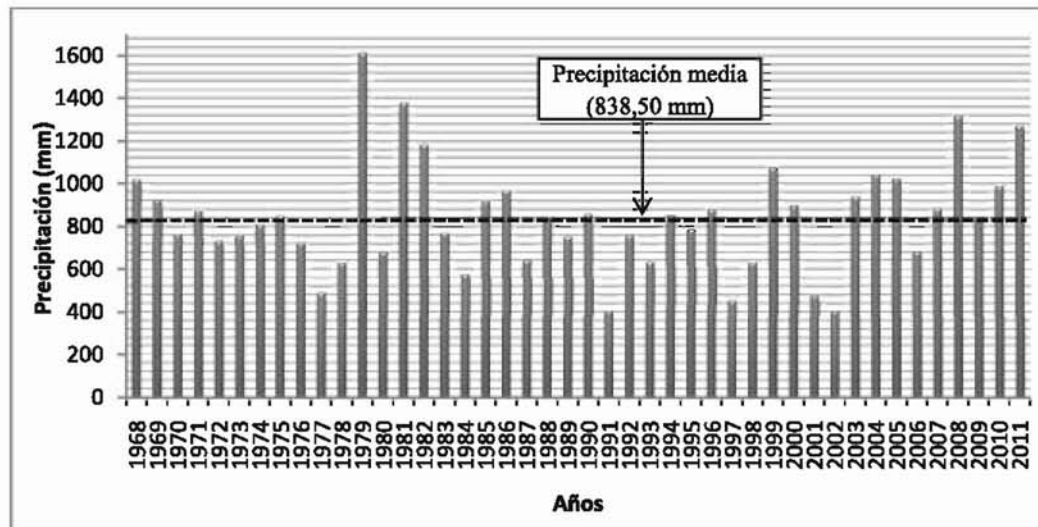


Figura 5.16: Precipitación anual de la estación Trujillo-liceo (1968-2011).

Los años húmedos son aquellos que quedan por encima de la precipitación media (por ejemplo: 1981, 1999, 2008, 2011, entre otros), mientras que los años secos son los que quedan por debajo (como puede verse para: 1977, 1991, 1997, 2001, 2002, entre otros). Se denominan “años medios” a aquellos que quedan próximos a la precipitación media (como 1974, 1988, 1994, y otros). Se determinó años secos aquellos que presentaron 200 mm por debajo de la precipitación media histórica (838,5 mm).

En relación con lo anterior, se plantea que para un año seco, el caudal que escurre por las microcuencas sería menor a los aquí estimados, ya que el año 2011 resultó ser un año húmedo (Figura 5.16).

Se realizó la corrección del caudal a través de la Ecuación 5.21, que correlaciona la precipitación media mensual en el tiempo de medición con los meses históricos secos:

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{estimado}} * \frac{\sum \text{Precipitación}_{\text{meses secos históricos}}}{\sum \text{Precipitación}_{\text{meses de medición}}} \quad (5.21)$$

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados de caudales corregidos utilizando la Ecuación 5.21.

Tabla 5.8: Precipitación (mm) para los meses de estudio en la estación Trujillo-liceo (Noviembre 2011 a Enero 2012).

Registro	Noviembre	Diciembre	Enero	Sumatoria Σ
Histórico seco	45,22	16,06	17,80	79,1
Período de medición	31,1	40	42,3	113,4

Tabla 5.9: Resumen de corrección de caudales, Q (l/s).

Microcuenca	$Q_{95\%}$ (l/s)	$Q_{80\%}$ (l/s)	$Q_{50\%}$ (l/s)
“A”	4,53	5,02	5,79
“B”	9,39	11,14	14,03

La oferta de agua que presenta la microcuenca “A”, con un 95% de ocurrencia, es de 4,54 l/s, con caudales medios de 5,79 l/s.

La oferta de agua que presenta la microcuenca “B”, con un 95 % de ocurrencia, es de 9,39 l/s, con caudales medios de 14,03 l/s.

5.3.2 Rendimiento de las microcuencas

La determinación del rendimiento viene dada por la razón del caudal de producción de las microcuencas con respecto a su área. A éste también se le llama Caudal específico, expresado en litros por segundo por kilómetro cuadrado ($l/s/km^2$). En la Tabla 5.10 se muestran el rendimiento para ambas microcuencas.

Tabla 5.10: Rendimiento de las microcuencas “A” y “B”.

Microcuenca	$Q_{95\%}$ (l/s)	Área de microcuenca (km^2)	Rendimiento ($l/s/km^2$)
“A”	4,53	0,337	13,44
“B”	9,39	2,215	4,24

5.4 CALIDAD DE AGUA

Con respecto a la calidad de agua para riego, Torres (2010) indica que:

Depende fundamentalmente de la cantidad de sólidos disueltos en ella, sedimentos en suspensión y restos de vegetación y residuos de diversos orígenes que lleva el flujo. Sin embargo, la clasificación de agua para riego es un problema complejo, debido al número de factores que en ello interviene, como lo son: el cultivo, suelo, clima, método de manejo del riego, la disponibilidad de agua y existencia o no de facilidades de drenajes. (p. 50).

Es de interés del presente estudio conocer la calidad de agua para riego conociendo sólo los parámetros físico-químicos de las diversas fuentes de agua que drenan por los cauces de interés de la finca “Las Calderas”. Para ello se tomaron diversas muestras de agua de éstas corrientes de agua que luego fueron llevadas al Laboratorio de Química Ambiental de la ULA-NURR para su posterior análisis.

Los resultados de éste análisis se muestran en el Apéndice B.6.

Según los análisis realizados, todas las muestras tomadas son aguas tipo 1, que pueden ser acondicionadas por métodos convencionales para el uso como fuente de abastecimiento de agua potable, y a su vez aguas tipo 2, que pueden ser destinadas al uso agrícola.

5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Por la necesidad de medir la precipitación en la zona se decidió construir un pluviómetro artesanal, él mismo debió calibrarse para obtener la confiabilidad de su funcionamiento. La calibración a la que fue sometida éste pluviómetro artesanal fue satisfactoria, pues la captación de agua de su embudo receptor fue similar a la del envase del aparato de referencia calibrador (envase A), el cual tiene una medida de área receptora similar a la de un pluviómetro estándar.

2. Debido al reducido volumen de agua que viaja por el cauce de la microcuenca “A”, el método de aforo volumétrico resultó ser el más idóneo, siendo éste uno de los más precisos.
3. Debido a las características físico-naturales del cauce en la microcuenca “B”, se encontró factible utilizar el método de aforo del flotador para medir caudales en dicha microcuenca. Ya que éste es un método que tiene cierto margen de error, se decidió realizar la calibración del mismo, haciendo una comparación de medición con el Bastón de Jens, el cual es un método confiable. Los aforos realizados con el método del flotador arrojaron mediciones de caudales diferentes al Bastón de Jens, permitiendo, a través del factor S, rectificar los datos que se vinieron tomando con el primer método, obteniendo datos de caudales confiables.
4. El software “Modelo AJUSTEHU” facilita la realización de distribuciones probabilísticas, ya que generalmente se presenta cierta dificultad al realizar éstas si no se dispone de un programa de computación.
5. Se determinó caudales para probabilidades de ocurrencia de 95% (Consumo humano), 80% (Riego) y 50% (Caudales medios) ya que son los valores de interés en el ámbito agrícola.
6. La relación precipitación-escorrentía reflejó una respuesta inmediata de la microcuenca “B” a las precipitaciones que inciden en ella. Caso contrario sucede con la microcuenca “A”, ya que ésta presentó una descarga más uniforme a través del tiempo. Producto de las observaciones visuales hechas en campo del estado arbóreo o de cobertura vegetal de ambas microcuencas, se infiere que la microcuenca “B” presenta éste comportamiento debido al grado de intervención antrópica en el nivel medio-alto de su área total. La microcuenca “A” mantiene cobertura vegetal autóctona conservada por lo que la respuesta de escurrimiento y escorrentía de una tormenta es menor a la de la microcuenca “B”.

7. Del análisis de comparación de datos pluviométricos registrados en las diferentes estaciones que influyen sobre el área de estudio, la estación Trujillo-liceo fue la que presentó registros más semejantes a los tomados en campo.
8. En los ajustes realizados a los caudales para períodos húmedos utilizando datos históricos de la estación Trujillo-liceo éstos se redujeron en un 30 a 30,5% por debajo a los medidos en campo.
9. La microcuenca “A” presentó con un 95% de ocurrencia caudales de 4,54 l/s, mientras que la microcuenca “B” presentó caudales con un 95% de ocurrencia de 9,39 l/s.
10. Según los análisis realizados por el Laboratorio de Química Ambiental de la ULA-NURR el tipo de agua que aportan las microcuencas “A” y “B” son aptas para consumo humano y animal, y a su vez, para ser utilizadas para riego.

CAPÍTULO VI

DEMANDA DE AGUA

Generalidades

Generalmente la precipitación representa casi todo el aporte hídrico natural al sistema suelo-planta. También representa la principal fuente de aporte hídrico a las zonas de recarga de los acuíferos para que estos “almacenen” agua y, en ocasiones especiales, sean éstos acuíferos afluentes de corrientes superficiales. Estas corrientes pueden “alimentarse” de acuíferos o bien de la precipitación de una manera más cercana, ya que la lluvia cae en las cuencas y, por el sistema de drenaje natural, se generan las corrientes de agua que pueden ser ríos, quebradas, arroyos, entre otros.

La precipitación por tener un carácter de distribución desigual, errático o aleatorio en toda la Tierra, crea disponibilidades de aguas superficiales diferentes para todas las regiones, teniendo también en cuenta otros factores como el relieve.

Entre todos los sectores productivos, la agricultura es la que demanda mayor cantidad de agua, ésta demanda debe ser cuantificada ya que existen otros sectores (industrial, de consumo humano, recreacional, etc.) que también hace uso de éste recurso. Debido a esto, el agua disponible en una zona debe gestionarse adecuadamente para lograr en forma equilibrada, los máximos beneficios sociales (equidad), económicos (desarrollo) y ambientales (sustentabilidad) que se pueden obtener del aprovechamiento del agua.

Para la estimación de demanda hídrica de una fuente de agua debe tenerse en cuenta los siguientes aprovechamientos según Rosales (2012):

- ∞ Proyectados.
- ∞ Existentes.
- ∞ En ejecución.
- ∞ Caudal ecológico.

Para el caso del presente estudio se adaptó el esquema anterior de la siguiente manera:

1. Demanda de agua proyectada:
 - Crecimiento agrícola:
 - ✓ Finca “Las Calderas”.
 - ✓ Usuarios de la fuente de agua con parcelas cultivables (Vecinos).
 - Crecimiento poblacional de la zona.
2. Demanda de agua existente:
 - Uso para consumo humano.
 - Uso para riego.
3. Demanda ecológica (Caudal ecológico).

6.1 DEMANDA DE AGUA PROYECTADA

6.1.1 Crecimiento agrícola

6.1.1.1 Finca “Las Calderas”

Para esta estimación, debe tenerse en cuenta la demanda de agua agrícola que incluye la producción vegetal y producción animal, pero para efectos de la presente investigación, se tomará sólo en cuenta la demanda hídrica para fines de riego, es decir, agua destinada para los cultivos.

Evapotranspiración

La estimación de los requerimientos de agua de los cultivos constituye una de las etapas básicas de todo proyecto agrícola.

“La estimación de la evapotranspiración es la forma más común de determinar los requerimientos de agua de los cultivos” (Trezza, 1997, p. 43). Éste mismo autor indica que la evapotranspiración depende básicamente de los dos siguientes factores:

- ∞ Condiciones climáticas.
- ∞ Características fisiológicas del cultivo y el manejo del mismo.

Con el objeto de separar la influencia de los factores anteriormente descritos, Grassi citado por Trezza (1997) presenta un procedimiento, el cual fue seguido en la presente investigación, de estimación de la evapotranspiración de un cultivo (Et) que consiste inicialmente en determinar la Evapotranspiración potencial (Etp) o Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto), la que responde a la influencia de las condiciones climáticas. Posteriormente la Etp o Eto es afectada por factores agronómicos que permiten, finalmente, la estimación de la Evapotranspiración del cultivo (Et) a través de la Ecuación 2.1 indicada en el Capítulo II.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (Eto)

Con referencia a lo anterior se estimó la Eto utilizando el método de Penman-Monteith tomado de Allen (2006) asumiendo que se cuenta con todos los parámetros necesarios para aplicar la Ecuación 6.1.

$$Eto = \frac{[0,408 * \Delta * (Rn - G)] + \left[\gamma \frac{900}{T + 273} u_2 * (e_{sat} - e_{act}) \right]}{\Delta + [\gamma * (1 + [0,34 * u_2])]} \quad (6.1)$$

Donde:

Eto: Evapotranspiración del cultivo de referencia en (mm/día).

Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo en (MJ/m²*día)

G: Flujo de calor en el suelo en (MJ/m²*día).

T: Temperatura media del aire, medida a 2 m de altura (°C).

u₂: Velocidad del viento, medida a 2 m de altura (m/s).

e_{sat}: Presión de vapor a saturación (kPa), correspondiente a la temperatura del aire (T).

e_{act}: Presión actual del vapor del aire (kPa).

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor del aire (kPa/°C).

γ: Constante psicrométrica (kPa/°C).

Se utilizó el software “Eto Calculator” de la de la FAO, éste software estima algunos parámetros si se carece de su información. Los datos utilizados para éste cálculo se muestran en el Capítulo III del presente trabajo. Estos fueron: temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{min}), el resto de los parámetros de la Ecuación 6.1 lo estima el software de acuerdo a la ubicación geográfica de la zona en estudio, altitud, entre otras descripciones.

Tabla 6.1: *Eto (mm/día) hallado con el software “Eto Calculator”.*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Eto	3	3,2	3,9	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9	3,5	3	3

Evapotranspiración del cultivo particular (Et)

Para calcular la Et, se llevó a cabo los pasos indicados por Sánchez (2011):

1. Identificar las diferentes etapas del ciclo del cultivo a estudiar y determinar el número de días correspondientes a cada una de ellas.

Estas etapas de desarrollo del cultivo, consideradas en el trabajo de la FAO-56 citado por Sánchez (2011), son las siguientes:

Etapas inicial: esta etapa comprende el periodo de tiempo entre la fecha de siembra y la fecha en que el cultivo cubre aproximadamente un 10% del área cultivada.

Etapas del desarrollo del cultivo: esta etapa comprende desde la fecha en que el cultivo cubre el 10% de área, hasta que llega a su máximo porcentaje de cobertura. En la práctica, para la mayoría de los cultivos, la máxima cobertura coincide con los inicios de la floración.

Etapas intermedia o de mediados de temporada: esta etapa comienza al producirse el área máxima de cobertura y finaliza al comenzar la madurez del cultivo. Esta maduración del cultivo es indicada por la maduración del fruto y caída de las hojas.

Etapas final: etapa comprendida entre el comienzo de la madurez y el final de la cosecha o total senescencia de la planta.

La longitud de cada etapa de cultivos se dedujo a través de entrevistas hechas a los productores de la zona.

2. Seleccionar el valor de Kc correspondiente a cada etapa del cultivo, ajustando el valor de Kc inicial por condiciones de humedecimiento frecuente en el suelo.

Los cultivos que los propietarios de la finca las calderas desean implantar son los siguientes:

- ∞ Apio (*Apium graveolens*).
- ∞ Pimentón (*Capsicum annum*).
- ∞ Tomate (*Lycopersicum esculentum*).

Los valores de Kc para cada cultivo fueron tomados del cuadro de valores de coeficiente único presentado por Allen (2006). Éstos se muestran en las siguientes tablas según sea el cultivo:

Tabla 6.2: Valor de Kc para el Apio (*Apium graveolens*).

Etapa	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados de temporada	Final de temporada
Longitud de etapa (días)	43	79	150	28
Ciclo vegetativo (días)	43	122	272	300
Kc	0,7	--	1,05	1

Tabla 6.3: Valor de Kc para el Pimentón (*Capsicum annum*).

Etapa	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados de temporada	Final de temporada
Longitud de etapa (días)	30	48	45	27
Ciclo vegetativo (días)	30	78	123	150
Kc	0,6	--	1,05	0,9

Tabla 6.4: Valor de K_c para el Tomate (*Lycopersicum esculentum*).

Etapa	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados de temporada	Final de temporada
Longitud de etapa (días)	23	31	32	19
Ciclo vegetativo (días)	23	54	86	105
K_c	0,6	--	1,15	0,9

3. Construir la curva del cultivo a partir de los valores K_c obtenidos y la longitud de cada etapa del cultivo. Esta curva permite obtener los valores intermedios de K_c . Éstas se muestran en la Figuras 6.1, 6.2 y 6.3.

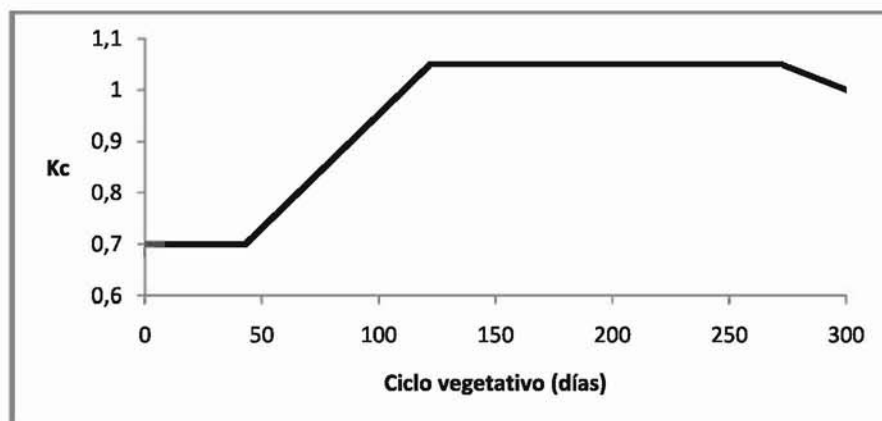


Figura 6.1: Curva del coeficiente del cultivo (K_c): Apio.

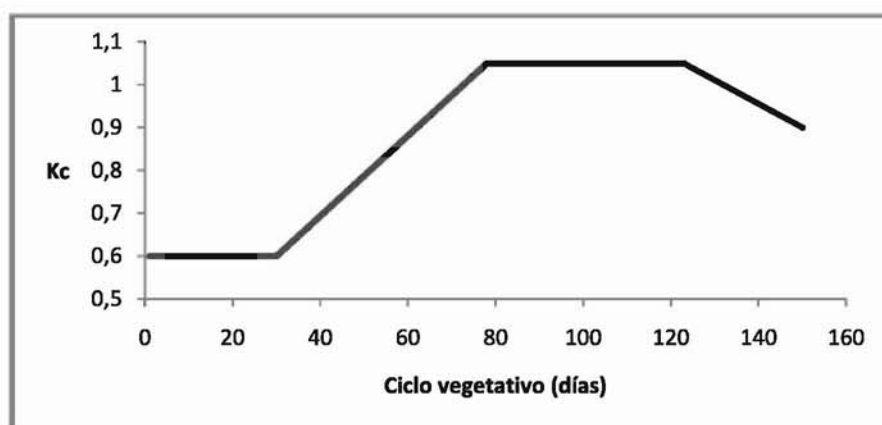


Figura 6.2: Curva del coeficiente del cultivo (K_c): Pimentón.

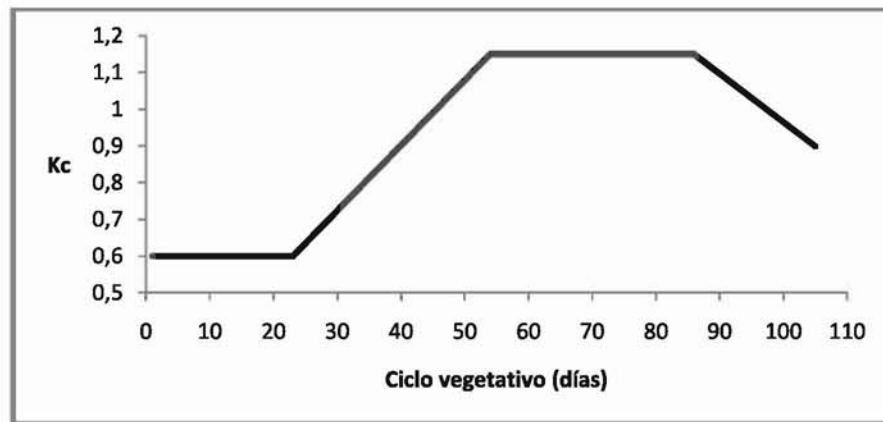


Figura 6.3: Curva del coeficiente del cultivo (K_c): Tomate.

4. Calcular los valores de la E_t .

Para éste se aplicó la Ecuación 2.1. En la Tablas 6.5, 6.6 y 6.7 se presentan los cálculos en mm/día para los cultivos en estudio.

Los propietarios de la finca “Las Calderas” prefieren que el periodo de la siembra se realice a principios de los meses lluviosos. Estos meses se muestran en la Figura 4.8, con sus respectivos valores mostrados en la Tabla 4.6.

Sembrando a mediados del mes de Marzo, la E_t para cada cultivo se muestra a continuación:

Tabla 6.5: Resumen de E_{to} , K_c y E_t : Apio.

Mes	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.
Eto (mm/día)	3,9	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9	3,5	3	3	3	3,2
Kc	0,70	0,70	0,78	0,92	1,03	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	0
Et (mm/día)	2,73	2,59	2,82	3,40	4,04	4,10	4,10	3,68	3,15	3,12	3,02	0,00

NOTA: Dejando en rastrojo el terreno desde el 15 de Enero al 15 de Marzo.

Tabla 6.6: Resumen de Eto, Kc y Et: Pimentón.

Mes	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.
Eto (mm/día)	3,9	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9	3,5	3	3	3	3,2
Kc	0,60	0,64	0,90	1,05	1,03	0,93	0,60	0,64	0,90	1,05	1,03	0,93
Et (mm/día)	2,34	2,38	3,24	3,89	4,01	3,63	2,34	2,25	2,70	3,15	3,09	2,98

NOTA: Dejando en rastrojo el terreno desde el 15 de Agosto al 15 de Septiembre, y desde el 15 de febrero al 15 de marzo.

Tabla 6.7: Resumen de Eto, Kc y Et: Tomate.

Mes	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.
Eto (mm/día)	3,9	3,7	3,6	3,7	3,9	3,9	3,9	3,5	3	3	3	3,2
Kc	0,60	0,73	1,04	0,97	0,60	0,73	1,04	0,97	0,60	0,73	1,04	0,97
Et (mm/día)	2,34	2,71	3,73	3,59	2,34	2,86	4,04	3,40	1,80	2,20	3,11	3,10

NOTA: Dejando en rastrojo el terreno 1 mes antes de cada siembra.

Precipitación efectiva

Grassi (1998) indica que la relación entre la lámina retenida en la capa radical del suelo para ser evapotranspirada y la que totaliza la precipitación caída, es una medida de la efectividad de la misma. En los cálculos de las demandas hídricas con fines de riego debe, en consecuencia, tenerse en cuenta la precipitación efectiva (Pe), que es la lámina de agua precipitada que efectivamente contribuye al proceso evapotranspiratorio.

Para determinar la Pe se adoptó el método del USA Soil Conservation Service presentado por Trezza (1997). Este consiste en determinar la Pe de acuerdo a:

$$Pe_a = \frac{P * (125 - [0,2 * P])}{125} \text{ si } P < 250 \text{ mm} \quad (6.2)$$

$$Pe_a = 125 + (0,1 * P) \text{ si } P > 250 \text{ mm} \quad (6.3)$$

Donde:

Pe_a: Precipitación efectiva (mm).

P: Precipitación total (mm).

Para calcular la Pe se utilizó la Ecuación 6.2, ya que los datos de precipitación registrados son todos menores a 250 mm. Los resultados de esta estimación se muestran en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: *Precipitación efectiva (mm), Pe, estimada para la finca “Las Calderas”.*

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P total	37,1	49,3	82,0	122,9	87,8	61,8	47,8	65,3	84,6	114,7	89,8	46,5
Pe	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1

Balance hídrico

Grassi (1998) indica:

El balance hídrico del suelo en equilibrio con el clima, es una forma de cuantificar la situación hídrica de un área determinada para un intervalo de tiempo dado. Al respecto, cabe destacar que se realiza con fines de planificación agrícola e hidráulica a nivel nacional, regional o zonal y también con fines de diseño y funcionamiento de un sistema de riego. (p. 171).

De la misma manera Grassi (1998) indica que el balance hídrico general de un área y necesidad de riego de cada cultivo, puede calcularse para diferentes intervalos de tiempo y con datos promedio de diferentes series de registros y de capacidades de almacenaje de agua en el suelo. A través de este análisis es posible detectar necesidades permanentes: riego integral o complementario, o necesidades temporarias: riego suplementario.

Éste se estimó utilizando la hoja de cálculo del profesor Ricardo Trezza, elaborada para el balance hídrico de un cultivo particular. Los datos de entrada utilizados fueron: altura del cultivo (parte aérea o epigea del cultivo), longitud de etapas de crecimiento del cultivo, coeficiente (Inicial, intermedio y final) del cultivo, profundidad radicular (parte subterránea o hipogea del cultivo), contenido de humedad en el suelo (capacidad de campo “CC” y punto de marchitez permanente “PMP”), densidad aparente del suelo, Pe, Eto, entre otros.

Actualmente la finca “Las Calderas” presenta tres parcelas diferentes aptas para cultivar, éstas se muestran en la Tabla 6.9. Estos valores son resultado del examen de suelo hecho en el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos de la ULA-NURR, el cual se muestra en la Figura 6.4.

Igualmente, en la Tabla 6.9, se muestra la densidad aparente para cada parcela, la que se halló aplicando el método de campo llamado método del “hoyo” que consiste en extraer una muestra de suelo hasta la profundidad de interés para luego conocer su masa. Una vez que se extrae ésta muestra, se coloca un material flexible y permeable (generalmente se usa una bolsa plástica) dentro del hoyo que queda hecho en el suelo después de haber tomado la muestra. Se vierte una cantidad de volumen de agua en el hoyo (con el material permeable) hasta llenar éste. Debe conocerse la cantidad de líquido que se ha vertido para aplicar la Ecuación 6.4.

$$\text{Densidad aparente}_{\text{suelo}} = \frac{\text{Masa seco de la muestra}}{\text{Volumen vertido en el hoyo}} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \quad (6.4)$$

Se llevó cada muestra de suelo al Laboratorio de Materiales y Ensayo para colocarlas en un horno durante 24 h a 105 °C extrayendo totalmente la humedad de la muestra. Una vez realizado esto, se midió el peso de cada muestra en una balanza (precisión para medir mg) y así tener los datos necesarios para obtener la densidad aparente del suelo (Tabla 6.9).

Generalmente las distinciones entre unidad de suelo son importantes, ya que presentan diferentes características físicas, características que influyen al momento de realizar el balance hídrico. Es por ello que para cada cultivo se realizó un balance hídrico en cada unidad parcelaria (de suelo) y así tomar el balance que indique mayor demanda de agua (el más crítico).

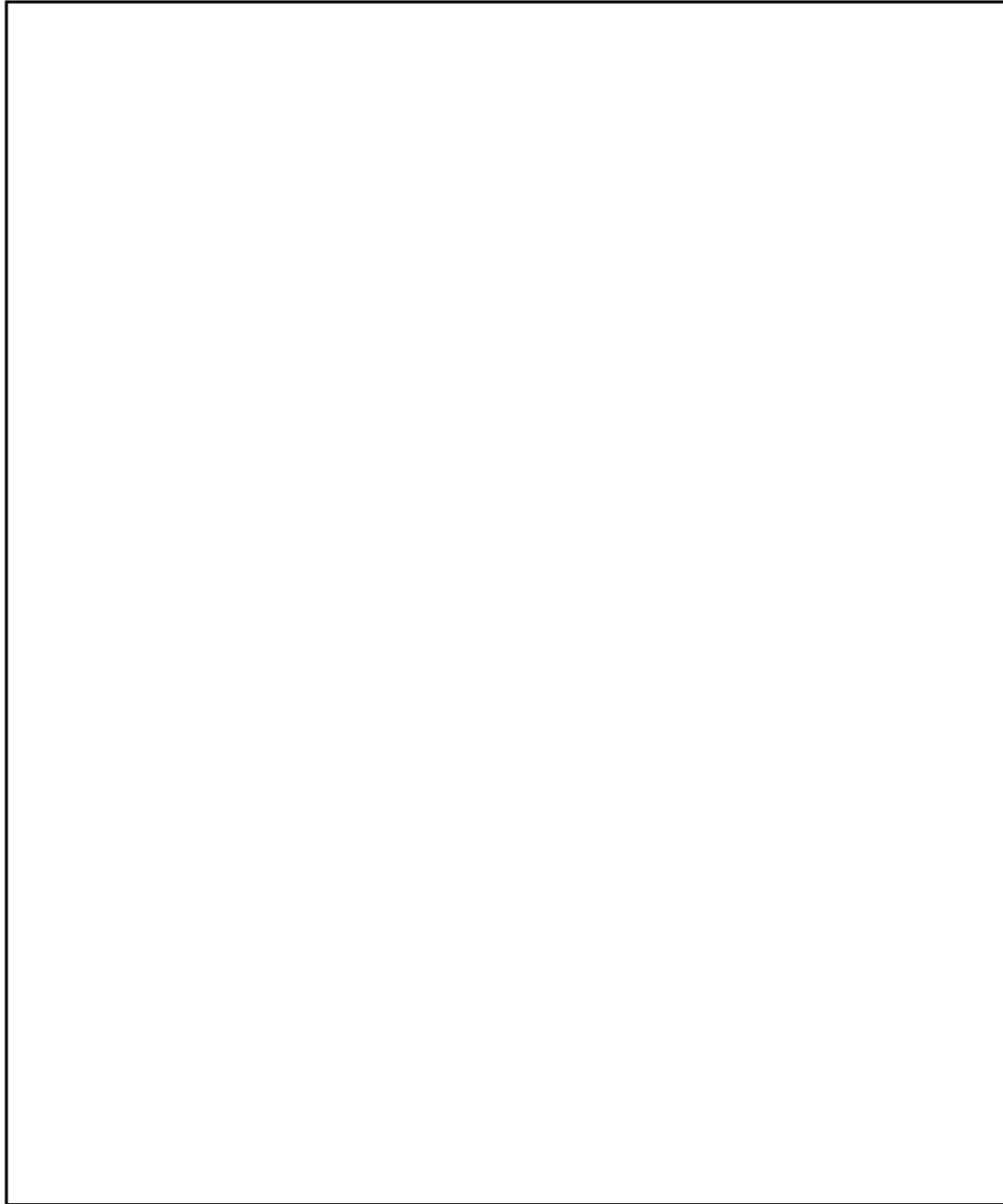


Figura 6.4: *Resultados de análisis de suelo hecho para las diferentes unidades parcelarias de la finca "Las Calderas".*

Tabla 6.9: Descripción general del suelo de parcelas (finca “Las Calderas”).

Unidades parcelarias			Características físicas			
Identificación	Superficie	Prof. de muestra (cm)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Da (gr/cm ³)
I	3012,2 m ² 0,3 ha	40	aF	9,9	4,6	1,42
II	1689 m ² 0,17 ha	40	aF	8,1	3,5	1,15
III	18641,2 m ² 1,86 ha	40	Fa	10,7	5,1	1,16

Balance Hídrico: Apio

Tabla 6.10: Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD I.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	93,6	0,0	84,6	72,5	87,4	95,2	125,2	127,1	114,8	114,1	88,2	96,7
B	-58,7	45,4	-5,9	26,2	5,5	-34,0	-81,1	-68,6	-41,7	-20,5	-11,3	-53,6
Alm	0,0	7,5	0,0	17,6	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Et _{real}	34,9	0,0	78,7	72,5	87,4	61,2	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Exc(mm)	0,0	37,9	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Def(mm)	58,7	0,0	5,9	0,0	0,0	34,0	81,1	68,6	41,7	20,5	11,3	53,6

Tabla 6.11: Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD II.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	93,6	0,0	84,6	72,5	87,4	95,2	125,2	127,1	114,8	114,1	88,2	96,7
B	-58,7	45,4	-8,1	26,2	0,3	-39,2	-81,1	-68,6	-41,7	-20,5	-11,3	-53,6
Alm	0,0	5,3	0,0	12,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Et _{real}	34,9	0,0	76,5	72,5	87,4	56,0	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Exc(mm)	0,0	40,1	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Def(mm)	58,7	0,0	8,1	0,0	0,0	39,2	81,1	68,6	41,7	20,5	11,3	53,6

Tabla 6.12: Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD III.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	93,6	0,0	84,6	72,5	87,4	95,2	125,2	127,1	114,8	114,1	88,2	96,7
B	-58,7	45,4	-6,9	26,2	3,1	-36,4	-81,1	-68,6	-41,7	-20,5	-11,3	-53,6
Alm	0,0	6,5	0,0	15,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Et_{real}	34,9	0,0	77,7	72,5	87,4	58,8	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Exc(mm)	0,0	38,9	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Def(mm)	58,7	0,0	6,9	0,0	0,0	36,4	81,1	68,6	41,7	20,5	11,3	53,6

En líneas generales, los balances hídricos presentados son muy parecidos, ya que las características del suelo de las tres parcelas son similares, sin embargo, analizando las Tablas 6.10, 6.11 y 6.12 se encuentra necesidad hídrica crítica del cultivo de Apio en la Unidad de suelo o parcelaria II, presentado como únicas diferencias en los meses de Marzo y Junio, con un déficit crítico de 8,1 mm y 39,2 mm respectivamente.

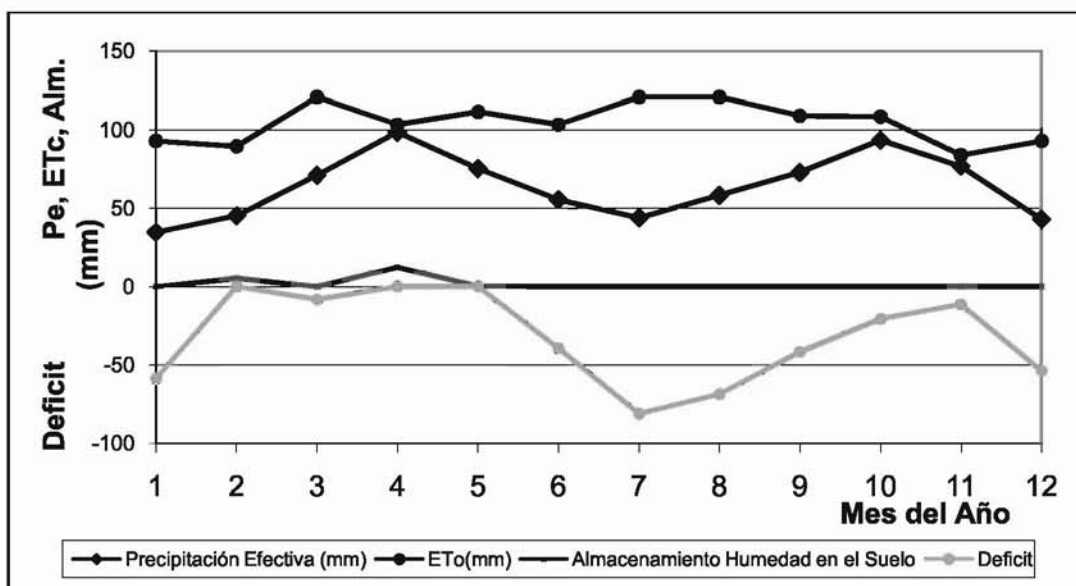


Figura 6.5: Representación de los valores del balance hídrico en la unidad parcelaria II: Apio.

Se puede ver que el primer mes y medio posterior a la siembra los requerimientos hídricos los cubre la precipitación efectiva, pero que luego de este periodo existe déficit

hídrico, por lo que se necesita aplicar riego, ya que la E_t supera notablemente la P_e , incluso en el siguiente periodo lluvioso.

Para los meses de Julio y Diciembre el cultivo requiere mayor cantidad de agua, meses donde las lluvias suelen ser escasas. Aquí se necesitará aplicar riego.

Balance hídrico: Pimentón

Tabla 6.13: Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD I.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	0,9	-52,3	-80,2	-54,0	7,6	31,4	27,2	-27,4
Alm	0,0	0,0	0,0	25,9	0,9	0,0	0,0	0,0	7,6	25,9	27,2	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	100,4	56,6	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	70,3
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	0,0	52,3	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	27,4

Tabla 6.14: Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD II.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	-6,8	-53,2	-80,2	-54,0	7,6	31,4	19,5	-35,1
Alm	0,0	0,0	0,0	18,2	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	18,2	19,5	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	93,6	55,7	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	62,6
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2	0,0	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	6,8	53,2	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	35,1

Luego de analizar las Tablas 6.13, 6.14 y 6.15 el cultivo del pimentón presentó mayor déficit en la unidad de suelo II, al igual que el Apio. La Tabla 6.14 muestra únicas diferencia en los meses de Mayo y Diciembre, teniendo para dichos meses déficit en el suelo de 6,8 mm y 35,1 mm respectivamente.

Tabla 6.15: Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD III.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	-2,7	-53,2	-80,2	-54,0	7,6	31,4	23,6	-31,0
Alm	0,0	0,0	0,0	22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	22,3	23,6	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	97,7	55,7	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	66,7
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,1	0,0	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	2,7	53,2	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	31,0

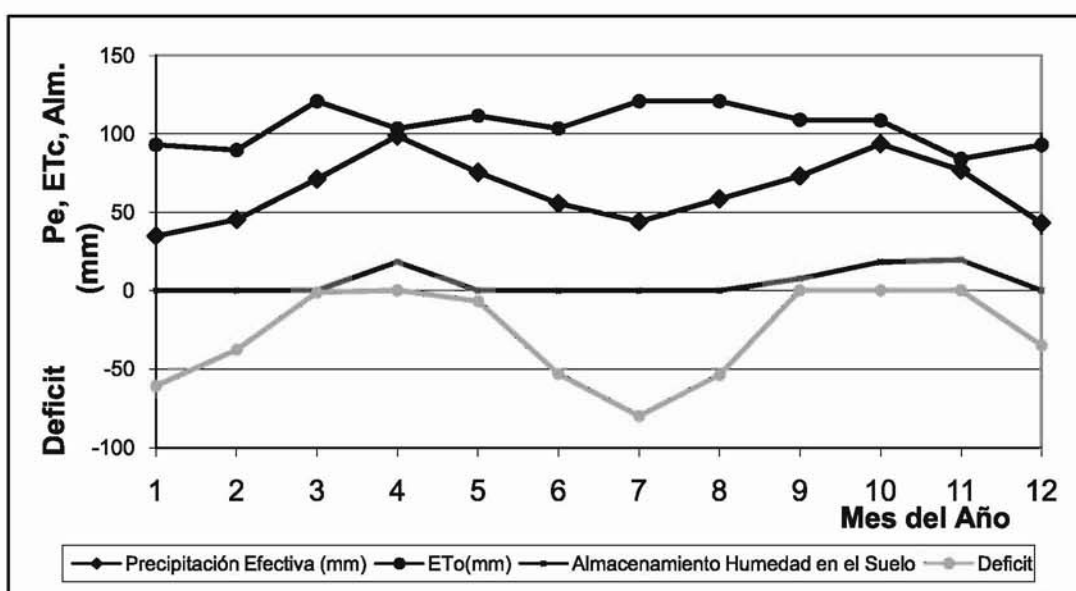


Figura 6.6: Representación de los valores del balance hídrico en la unidad parcelaria II: Pimentón.

La siembra del Pimentón para mediados del mes de Marzo aprovecha el agua por precipitación, pero después del mes de Mayo la Et supera la Pe para los próximos meses hasta Septiembre. Durante este lapso la planta se ve afectada por déficit de agua, agua que debe ser suministrada a través del riego.

Durante los meses de Septiembre a Noviembre existe un almacenamiento tal que da cabida al exceso de agua, exceso que podría, en algún momento específico, requerir algún tipo de drenaje si las condiciones lo ameritan.

Balance hídrico: Tomate

Tabla 6.16: Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD I.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	3,5	-49,7	-80,2	-54,0	7,6	31,4	32,7	-29,8
Alm	0,0	0,0	0,0	28,6	3,5	0,0	0,0	0,0	7,6	31,4	24,7	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	100,4	59,2	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	67,8
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	0,0	49,7	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	29,8

Tabla 6.17: Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD II.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	-5,0	-53,2	-80,2	-54,0	7,6	31,4	26,1	-37,2
Alm	0,0	0,0	0,0	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	24,8	17,4	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	95,5	55,7	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	60,5
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	8,8	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	5,0	53,2	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	37,2

Ez analizadas las Tablas 6.16, 6.17 y 6.18 el cultivo del Tomate presentó mayor déficit en la unidad de suelo II, al igual que el Apio y Pimentón. La Tabla 6.17 muestra únicas diferencia en los meses de Mayo y Diciembre, teniendo para dichos meses déficit en el suelo de 5,0 mm y 37,2 mm respectivamente.

Tabla 6.18: Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD III.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Pe (mm)	34,9	45,4	71,2	98,7	75,4	55,7	44,1	58,5	73,1	93,6	76,9	43,1
Eto (mm)	95,8	83,4	72,5	66,6	100,4	108,9	124,3	112,5	65,5	69,8	75,6	97,7
B	-60,9	-38,0	-1,3	32,1	-0,4	-53,2	-80,2	-54,0	7,6	31,4	31,8	-33,2
Alm	0,0	0,0	0,0	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	30,5	21,3	0,0
Et_{real}	34,9	45,4	71,2	66,6	100,0	55,7	44,1	58,5	65,5	69,8	75,6	64,4
Exc(mm)	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	10,5	0,0
Def(mm)	60,9	38,0	1,3	0,0	0,4	53,2	80,2	54,0	0,0	0,0	0,0	33,2

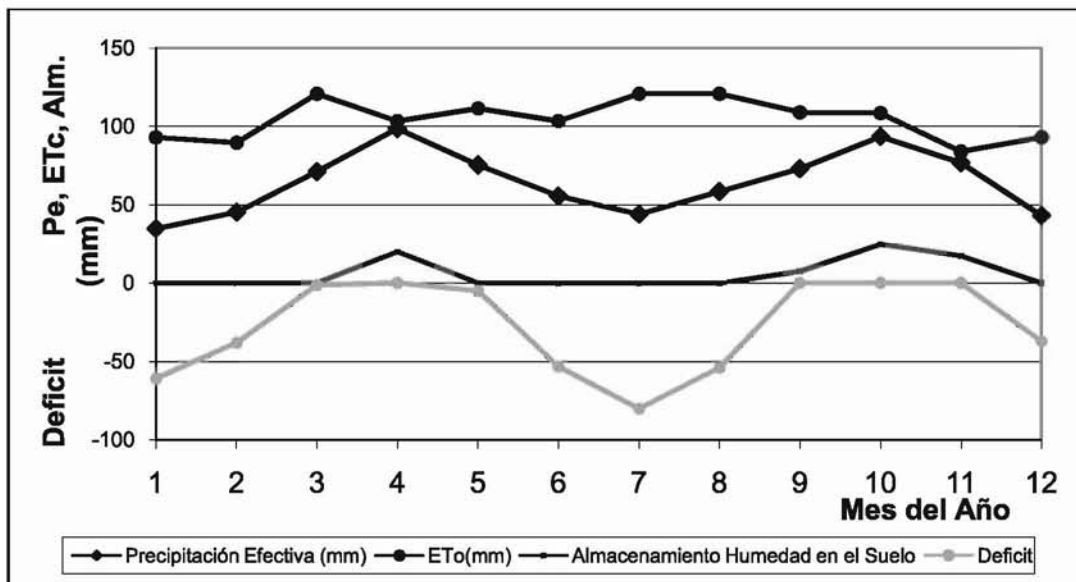


Figura 6.7: Representación de los valores del balance hídrico en la unidad parcelaria II: *Tomate*.

Para el cultivo de Tomate debe aplicarse mayor lámina de agua, a través del riego, en los períodos donde el cultivo presenta las mayores necesidades hídricas (principios de Enero y Principio del mes de Junio). No se aprecia excesos hídricos altos, lo que mitiga la incertidumbre de evacuar agua excedente.

Debe mencionarse que para éstos tres casos presentados anteriormente, los balances hídricos están elaborados a nivel mensual, lo que refleja el comportamiento grosso del sistema suelo-planta-clima, pasando por alto la interacción diaria o semanal de la referida relación, lo que oculta el posible déficit o exceso de agua a los que podrían estar expuestos los cultivos en un momento específico. “Por ello el balance hídrico a nivel mensual es útil para caracterización climática a nivel general o planificación. En el caso de estimación de requerimientos de riego o excesos de agua con fines de diseño, se requiere de valores diarios o cada diez (10) días para la realización del balance hídrico.”(Trezza, 1997, p. 71).

Caudal módulo

“Es el caudal requerido para satisfacer las demandas hídricas por unidad terreno (hectárea) de un cultivo en particular, tomándose en cuenta la Et máxima del cultivo, la eficiencia de aplicación y el tiempo de operación en el que se aprovecha dicho caudal.” Sánchez (2011). Este caudal se basa en la Ecuación 6.5.

$$C_m(l/s) = \frac{Et(mm) * 10000(m^2)}{Ef(\%/100) * To(s)} \quad (6.5)$$

Donde:

- C_m: Caudal módulo.
- Et: Evapotranspiración del cultivo.
- Ef: Eficiencia de aplicación.
- To: Tiempo de operación

Para éste cálculo se asumió un tiempo de operación (To) de 24 h (86400 s), tiempo de aprovechamiento del caudal disponible, bien sea para almacenamiento o para aplicación del riego. Esto indica que el caudal módulo representa el caudal mínimo demandado por hectárea. La eficiencia de aplicación se emplea “para todo un sistema de riego, para unidades, secciones o predios del mismo, o bien para áreas parciales o lotes componente de un predio” (Grassi, 1998, p. 260), y se define como “la relación entre el agua consumida por los cultivos agrícolas en el predio o sistema de riego y el agua derivada de la fuente natural hacia el predio o canales del sistema o laterales” (Israelsen citado por Grassi, 1998, p. 260).

De los balances hídricos críticos para cada cultivo, se extrajo el déficit máximo, ya que éste valor representa la necesidad de agua por riego que requiere el cultivo. Estos valores se presentan en mm/mes (mensuales), por lo que interesa tener el valor diario de demanda hídrica para riego y así obtener el caudal módulo.

El cultivo del Apio presentó una demanda hídrica máxima en el mes de Julio con 81,1 mm, teniendo éste mes 31 días, siendo así la demanda diaria de 2,6 mm aproximadamente.

De igual manera, los cultivos de Pimentón y Tomate presentaron una demanda hídrica máxima en el mes de Julio de 80,2 mm, teniendo éste mes 31 días, siendo así la demanda diaria para ambos de 2,6 mm aproximadamente.

Asumiendo una Eficiencia de aplicación del 70% para todos los cultivos, y tomando la Et máxima diaria de los cultivos se halló el caudal módulo, expresado en l/s/ha a través de la Ecuación 6.5.

Tabla 6.20: *Resumen de caudales módulo (l/s/ha) para los cultivos en estudio.*

Cultivo	Apio	Pimentón	Tomate
Caudal módulo	0,43	0,43	0,43

Si se utilizan eficiencias mayores al 70 %, el caudal módulo disminuiría. Lo mismo sucede con el tiempo de operación, si éste fuese mayor a 24 h, el caudal módulo se reduciría igualmente. Evidentemente, sucedería lo contrario si la eficiencia fuese menor a la asumida y/o el tiempo de operación mayor.

Demanda hídrica por los cultivos

Como todos los cultivos presentaron el mismo caudal módulo, según la Tabla 6.20, se realizó la estimación del caudal requerido para satisfacer la demanda hídrica de los tres cultivos. Sin embargo, cuando esta situación es diferente, es decir, cuando los caudales módulo son distintos para cada cultivo, se toma el cultivo con el mayor caudal módulo estimado para calcular con el caudal crítico de demanda hídrica.

Se toma en consideración las tres unidades de suelo, descritas anteriormente, para tomarlas como superficie total cultivable, ya que la estimación de demanda se realizará para la finca completa y no para una parcela en particular. Sumando la superficie de las tres unidades de suelo resulta un área aproximada de 2,33 ha.

Ahora bien, el caudal requerido para regar la superficie cultivable de la finca (2,33 ha), se halló multiplicando ésta área por el caudal módulo de 0,43 l/s/ha, resultando así **1,00l/s**. Ésta demanda es hipotética, ya que se asumió una eficiencia de aplicación del 70 % (su estudio específico escapa al alcance de la presente investigación) y un tiempo de operación de 24 horas.

6.1.1.2 Usuarios de la fuente de agua con parcelas cultivables (Vecinos)

Actualmente existen parcelas, ajenas a la finca “Las Calderas”, que no están en producción, sin embargo, puede que en algún momento éstas podrían explotarse con fines de producción agrícola; lo que sugiere estimar la cantidad de agua que pudiese demandar si sus propietarios tomaran ésta decisión, ya que tienen todo el derecho al uso del agua proveniente de la microcuenca “A”, cuya oferta fue calculada en el Capítulo V.

Este tipo de demanda se le llama “demanda de agua comprometida”, ya que existe cierta porción del recurso hídrico superficial que podría ser usado por otras personas que tienen derecho sobre su uso.

Se realizó una entrevista con los propietarios de dichas parcelas con el fin de conocer sus tendencias al momento de la elección de los cultivos a producir, éstos se sienten atraídos por las hortalizas como Apio (*Apium graveolens*), Cebolla (*Allium fistulosum*), Papa (*Solanum tuberosum*), Pimentón (*Capsicum annum*) y Tomate (*Lycopersicum esculentum*). A sabiendas que éstas parcelas están prácticamente, bajo las mismas condiciones que las parcelas de la finca “Las Calderas”, y considerando la tendencia que tienen los productores de la zona, se decidió realizar el cálculo de demanda de agua para los cultivos usados para la finca “Las Calderas” (Apio, Pimentón y Tomate) y con éstos resultados, hacer una estimación de las demandas para dichas parcelas. Utilizando los resultados hallados anteriormente, se procedió a calcular el caudal módulo, utilizando una Eficiencia de aplicación del 70 % y un tiempo de operación de 24 h para un área estimada de 0,27 ha, resultando así **0,12 l/s** de demandas hídricas.

6.1.2 Crecimiento poblacional de la zona

Basándose en los primeros resultados del Censo 2011 realizados a nivel nacional presentados por el Instituto Nacional de Estadística (2012), se calculó el incremento demográfico de la zona en estudio, tomando como referencia la tasa de crecimiento poblacional para Venezuela de los últimos 10 años (1,6 %), ya que se carece de información a nivel regional.

Este crecimiento se estimó a través de la Ecuación 6.6.

$$Crp = Po * (1 + Ta)^n \quad (6.6)$$

Donde:

Crp: Crecimiento poblacional (Número de habitantes).

Po Población actual (Número de habitantes).

n Número de años proyectados (adimensional).

Ta Tasa de crecimiento (%/100).

Actualmente la comunidad la conforman 22 personas, que se benefician diariamente de la fuente de agua de la microcuenca “A”, para consumo humano. Tomando una proyección de 25 años, se obtuvo el crecimiento poblacional para la zona en estudio utilizando la Ecuación 6.6. Los resultados de esta estimación se presentan en la Tabla 6.21.

Tabla 6.21: *Crecimiento poblacional de la zona en estudio.*

Año	Población	Año	Población	Año	Población
2013	22,4	2021	25,4	2030	29,3
2014	22,7	2022	25,8	2031	29,7
2015	23,1	2023	26,2	2032	30,2
2016	23,4	2024	26,6	2033	30,7
2017	23,8	2025	27,0	2034	31,2
2018	24,2	2026	27,5	2035	31,7
2019	24,6	2027	27,9	2036	32,2
2020	25,0	2028	28,4	2037	32,7
		2029	28,8		

Según la Norma Sanitaria de Hidroven, se establece un límite de 250 litros diarios para el consumo de agua por persona en Venezuela. La estimación de la demanda para consumo humano, se hizo en base, como se dijo anteriormente, a una proyección de 25 años, siguiendo también, la Norma antes descrita. La Tabla 6.21 indica que para entonces se tendrán 33 habitantes, resultando así una demanda diaria de 8250 litros, lo que se traduce en un caudal de 0,076 l/s, que aproximándolo resulta **0,095 l/s**.

Si a esto se le adiciona la “demanda flotante” que está conformada por aquellas personas que visitan dicha comunidad bien sea, hospedándose, visitando, etc. Ésta cifra se podría duplicar, siendo en total de **0,19 l/s**. Ésta última cifra conformará la demanda proyectada para los próximos 25 años.

6.2 DEMANDA DE AGUA EXISTENTE

Actualmente estas demandas se realizan aguas abajo del punto de aforo 1 pero aguas arriba del punto de aforo 2.

6.2.1 Uso para consumo humano (uso doméstico)

Éste caudal derivado se incluyó en el punto 6.1.2 en la estimación de la demanda proyectada en base al crecimiento poblacional de la zona de estudio para los próximos 25 años.

6.2.2 Uso para Riego

Como se explicó anteriormente, existen parcelas que no están siendo utilizadas agrícolamente, pero hay otras que las mantienen en continua producción. Para ello, sus propietarios aplican riego, utilizando agua proveniente de la microcuenca “A”, agua que debió ser estimada cuantitativamente según fuesen los cultivos implantados. Actualmente, se tienen cultivado Tomate (*Lycopersicum esculentum*), pero como es de saber, estos productores podrían cambiar de cultivos a producir. Éstos productores también tienen la misma tendencia de los anteriormente encuestados, por lo que se decidió, de la misma

manera, estimar el agua demandada con fines de riego utilizando como cultivo de referencia el Apio, Pimentón y Tomate.

Utilizando los resultados hallados anteriormente, se procedió a calcular el caudal módulo, utilizando una Eficiencia de aplicación del 70 % y un tiempo de operación de 24 h para un área estimada de 0,74 ha, resultando así 0,32 l/s de demandas hídricas para el cultivo del Apio.

6.3 DEMANDA ECOLÓGICA (CAUDAL ECOLÓGICO)

Un caudal circulante por un cauce podría ser considerado como ecológico, siempre que fuese capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales. En la literatura se puede encontrar los términos caudal mínimo, caudal de compensación, caudales medio ambientales, caudales de mantenimientos, caudales de reserva, y otros.

Según Andrade (2011) todo proyecto que conlleve la derivación o regulación de agua de cauces hídricos naturales (agua para consumo humano, riego, uso hidroeléctrico, entre otros), deben considerar la conservación de éste caudal aguas abajo de las obras, para evitar la alteración de los corredores ecológicos constituidos por estos cauces hídricos.

Igualmente Andrade (2011) indica que la determinación del caudal ecológico de un río o arroyo se hace según un cuidadoso análisis de las necesidades mínimas de los ecosistemas existentes en el área de influencia de la estructura hidráulica (Obra de regulación, de derivación) que en alguna forma va a modificar el caudal natural del río o arroyo.

En ausencia de estudios, información, etc., los métodos más simples son los hidrológicos o estadísticos, que determinan el caudal mínimo ecológico a través del estudio de los datos de caudales. Un ejemplo de método estadístico simple es definir el caudal mínimo ecológico como un 10% del caudal medio histórico.

Hechas las consideraciones anteriores, y considerando la escasa información con que se cuenta para la zona de estudio, se seleccionó el método de Tennant (utilizado en Francia y España) que propone la estimación del caudal ecológico como el 10 % del caudal medio de la corriente de agua superficial.

Al contar con la mínima información, imposibilitando seguir las recomendaciones de la literatura en cuanto a aplicar suficientes parámetros, y con el objetivo de estimar valor de referencia, se halló un caudal ecológico tomando en consideración el método de Tennant, estableciendo así el 10 % de los caudales medios calculados para las microcuencas “A” y “B”, mostrados en la Tabla 5.9.

Así pues resulta un caudal ecológico para la microcuenca “A” de 0,58 l/s, y para la microcuenca “B” 1,4 l/s.

6.4 DEMANDA TOTAL DE AGUA

Considerando las demandas de agua calculadas anteriormente, se halla la demanda total sumando todas estas. Esto se muestra en la Tabla 6.22.

Tabla 6.22: Resumen de demandas de agua en la microcuenca “A”.

TIPO DE DEMANDA			DEMANDA (l/s)
Proyectada	Crecimiento Agrícola	Finca “Las Calderas”	1,00
		Vecinos de la comunidad	0,12
	Crecimiento Poblacional		0,19
Existente	Uso Doméstico		*
	Riego		0,32
Ecológica	Caudal ecológico		0,58
Total			2,21

(*) Demanda incluida en la demanda de agua basada en el crecimiento poblacional para los próximos 25 años.

Tabla 6.23: Resumen de demandas de agua en la microcuenca “B”.

TIPO DE DEMANDA			DEMANDA (l/s)
Proyectada	Crecimiento Agrícola	Finca “Las Calderas”	1,00
		Vecinos de la comunidad	0,12
	Crecimiento Poblacional		0,19
Existente	Uso Doméstico		*
	Riego		0,32
Ecológica	Caudal ecológico		1,40
Total			3,03

(*) Demanda incluida en la demanda de agua basada en el crecimiento poblacional para los próximos 25 años.

La Tabla 6.23 muestra la demanda total ejercida sobre la microcuenca B. Es de notar que todas las derivaciones de agua existentes se encuentran enmarcadas en la microcuenca “A”, sabiendo que ésta conforma a su vez la microcuenca “B”, es decir, son microcuencas mutuamente dependientes. Éstas derivaciones, que forman la demanda de agua, también fueron incluidas en la cuantificación de la demanda en la microcuenca “B” por las razones ya explicadas.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. El programa “Eto Calculator” resultó una herramienta útil para la estimación de la Evapotranspiración de referencia (Eto) o potencial (Etp) en la finca “Las Calderas”, ya que se contó con la mínima información para hallar éste parámetro, debido a la falta de estaciones que registre dicho parámetro. Es de indicar, que ésta deficiencia a nivel gubernamental afecta la agricultura directamente ya que la Etp o Eto es un dato de suma importancia para desarrollar cualquier proyecto agrícola, y sobre todo, de riego.

2. Según los estudios realizados por el Laboratorio de Servicio de Análisis de Suelos de la ULA-NURR, los suelos de las parcelas de la finca “Las Calderas” son suelos de granulometría gruesa (Franco-arenosos y Areno-francosos) lo que indican que son suelos muy permeables y de poca retención de humedad.
3. De la misma manera, el pH de las unidades de suelo analizadas está en un rango entre pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino (6,6 – 7,8), siendo este rango excelente para una gama amplia de cultivos, especialmente para los aquí estudiados.
4. La unidad de suelo II representó la que más incide sobre la evapotranspiración real del cultivo, siendo éste el terreno donde se presentan déficit más marcados de agua para los tres cultivos estudiados.
5. Según los balances hídricos realizados para los tres cultivos estudiados, se observa que durante casi todo el año estos necesitan suministro de agua, evidenciándose esto en el cálculo de la demanda de cada uno, observándose además que la precipitación no la satisface.
6. El caudal módulo resultó el mismo para los tres cultivos en estudio, siendo éste 0,43 l/s.
7. La demanda proyectada de los cultivos estudiados para la finca “Las Calderas” fue de 1,00 l/s.
8. La demanda proyectada por cultivos para algunos productores de la zona que hacen uso de la fuente de agua que transita a través de la microcuenca “A” fue de 0,12 l/s.
9. La demanda proyectada para los próximos 25 años de agua para consumo humano fue estimada en 0,19 l/s, incluyendo la demanda “flotante”.
10. La demanda actual en la zona de estudio para fines de riego fue de 0,32 l/s para una superficie de 0,74 ha.

11. El caudal ecológico requiere un caudal de 0,58 l/s para la microcuenca “A”, y 1,4 l/s para la microcuenca “B”.
12. La demanda de agua requerida sobre la microcuenca “A” se determinó hallando todas las demandas estimadas, dando como resultado un total de 2,21 l/s.
13. Lo mismo se realizó para la microcuenca “B”, dando como resultado de demanda un total de 3,03 l/s.