



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**NÚCLEO UNIVERSITARIO "RAFAEL RANGEL"**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA**  
**TRUJILLO — VENEZUELA**

**ESTIMACIÓN DE OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA CON FINES DE RIEGO EN LA  
FINCA "LAS CALDERAS", PARROQUIA MONSEÑOR CARRILLO, MUNICIPIO  
TRUJILLO DEL ESTADO TRUJILLO.**

**Por:**

**Diego Martín Barreto Paredes**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO A LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE LOS  
ANDES, NÚCLEO UNIVERSITARIO "RAFAEL RANGEL", EN EL CUMPLIMIENTO  
PARCIAL DE LOS REQUISITOS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

---

**Tutora Académica**  
**Prof. Igle Umbría**

---

**Tutor Institucional**  
**Prof. Luis Mora**

---

**Asesor Académico**  
**Prof. Jesús Mejías**

**TRUJILLO, 2012**

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a su realización.

También, especialmente dedicado a todo aquel que se interese en leerlo y pueda servirle para su crecimiento estudiantil, ya que todo el que estudia ejercita el entendimiento para alcanzar o comprender una cosa.

Las personas respetan al estudiante, no por su nivel de intelectualidad individual, sino porque ellos tienen la esperanza que éstos contribuyan al progreso de su país asentándose, idealmente, en el accionar colectivo.

Ojalá éste trabajo le extraigan el máximo provecho, porque esa es *una de las metas a alcanzar*.

## AGRADECIMIENTOS

Primero, gracias al Padre por hacer posible éste trabajo y permitirme avanzar cada día.

Al estado venezolano por la educación que he recibido durante los primeros niveles. Igualmente recordando siempre a aquellas personas que llevaron sus luchas para que el estudiante, a nivel general, tenga todos los beneficios actuales y goce del gran privilegio de la educación.

A mis padres por ser mi primer ejemplo de valentía, rectitud, constancia, fuerza enérgica..., para seguir adelante pese a las dificultades del día a día.

A mis hermanos por su amor y fidelidad inquebrantable. También a mi sobrina que con sus pequeñas e inocentes acciones me incentiva a continuar sin bajar los brazos.

A mi familia por extenderme su mano cuando la necesito.

A los tíos Juancho, Omar y Henry por su hospitalidad y colaboración constante para que éste trabajo se llevara a cabo.

A la tía Zulay por su gran apoyo durante la realización del trabajo, ejemplo de valentía serena para afrontar las dificultades de la vida.

A las primas Zulys, Jesmary, Maritza, Venecia, Paola y primos Paul, Luis, Hebert por su apoyo.

A la profesora y amiga Igle Umbría por su tutoría y gran desempeño para la realización de éste trabajo.

Al profesor Luis Mora por su tutoría e importante colaboración en éste trabajo.

Al profesor y amigo Jesús Mejías por su disponibilidad y sus valiosas contribuciones.

Al profesor Ricardo Trezza por sus asesoramientos y aclaraciones de dudas de la manera más sencilla posible.

A esos profesores que siempre fueron más allá de las aulas de clase, que son ejemplo y “libro abiertos” de vida como la profesora Aixa Núñez y el profesor Jesús La Chica.

A Libert Sánchez, Manuel Valera (Cabrera), Eduardo Conquet y José Luis Barillas, grandes amigos, por brindar esa ayuda desinteresada en momentos arduos.

A Abelina por ser una valiosa contribuyente para la realización de las mediciones en campo, así como al primo Alí y a los habitantes de esa hermosa zona llamada “Las Calderas”.

A aquellas personas que colaboraron de una u otra forma en la realización de éste trabajo.

Al CDCHTA-ULA por el financiamiento que me fue otorgado bajo el número NURR-C-540-11-01-F.

Por último, gracias a esa gran persona que me enseñó a ser agradecido con su nobleza, generosidad,... ¡gracias infinitas!

## INDICE

| <b>CONTENIDO</b>     |   | <b>PÁG.</b> |
|----------------------|---|-------------|
|                      | PORTADA                                       | i           |
|                      | ACTA DE GRADO                                 | ii          |
|                      | DEDICATORIA                                   | iii         |
|                      | AGRADECIMIENTOS                               | iv          |
|                      | ÍNDICE  | vi          |
|                      | LISTA DE FIGURAS                              | ix          |
|                      | LISTA DE TABLAS                               | x           |
|                      | LISTA DE SÍMBOLOS                             | xi          |
|                      | LISTA DE APÉNDICES                            | xii         |
|                      | RESUMEN                                       | xiii        |
| <br><b>CAPÍTULOS</b> |   |             |
| <b>I</b>             | <b>INTRODUCCIÓN</b>                           | <b>1</b>    |
|                      | Objetivos                                     | 3           |
| <b>II</b>            | <b>MARCO TEÓRICO</b>                          | <b>4</b>    |
| 2.1                  | Antecedentes                                  | 4           |
| 2.2                  | Bases teóricas                                | 5           |
|                      | Recurso agua                                  | 5           |
|                      | Agua superficial                              | 7           |
|                      | Agua subterránea                              | 7           |
|                      | Tipos de oferta hídrica                       | 7           |
|                      | Demanda hídrica                               | 9           |
|                      | Evapotranspiración                            | 9           |
| <b>III</b>           | <b>INFORMACIÓN BÁSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> | <b>13</b>   |
| 3.1                  | Ubicación del área                            | 13          |
| 3.1.1                | Política – Administrativa                     | 13          |
| 3.1.2                | Geográfica                                    | 13          |
| 3.1.3                | Hidrográfica                                  | 13          |
| 3.1.4                | Superficie y altitud                          | 13          |
| 3.2                  | Topografía y relieve                          | 15          |
| 3.3                  | Geología y geomorfología                      | 15          |
| 3.3.1                | Geología                                      | 15          |
| 3.3.2                | Geomorfología                                 | 15          |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.4       | Uso actual del suelo y capacidad de uso                                      | 16        |
| 3.5       | Vegetación   | 16        |
| 3.6       | Precipitación  | 17        |
| 3.7       | Temperatura  | 18        |
| <b>IV</b> | <b>INVENTARIO Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA Y DE PRECIPITACIÓN</b> | <b>22</b> |
| 4.1       | Recopilación de información básica   | 22        |
| 4.2       | Digitalización de mapas de la zona de estudio                                | 23        |
| 4.3       | Construcción de mapas isoyéticos   | 24        |
| 4.3.1     | Precipitación media en la zona   | 24        |
| 4.3.2     | Análisis de consistencia   | 26        |
| 4.3.3     | Estimación de datos mensuales para estaciones                                | 32        |
| 4.3.4     | Obtención de precipitación media en la zona a través de Isoyetas             | 34        |
| 4.4       | Análisis de resultados   | 35        |
| <b>V</b>  | <b>OFERTA DE AGUA</b>  | <b>37</b> |
| 5.1       | Fase de campo  | 38        |
| 5.1.1     | Medición de precipitación  | 38        |
| 5.1.2     | Medición de caudal   | 46        |
| 5.2       | Procesamiento de datos   | 58        |
| 5.2.1     | Curva de Duración de Caudales (C.D.C.)                                       | 58        |
| 5.2.2     | Relación precipitación-escorrentía   | 61        |
| 5.3       | Ajuste de resultados   | 62        |
| 5.3.1     | Ajuste del caudal de producción  | 62        |
| 5.3.2     | Rendimiento de las microcuencas  | 65        |
| 5.4       | Calidad de agua  | 66        |
| 5.5       | Análisis de resultados   | 66        |
| <b>VI</b> | <b>DEMANDA DE AGUA</b>   | <b>69</b> |
| 6.1       | Demanda de agua proyectada   | 70        |
| 6.1.1     | Crecimiento agrícola   | 70        |
| 6.1.1.1   | Finca “Las Calderas”   | 70        |
| 6.1.1.2   | Usuarios de la fuente de agua con parcelas cultivables (Vecinos)             | 88        |
| 6.1.2     | Crecimiento poblacional de la zona   | 89        |
| 6.2       | Demanda de agua existente  | 90        |
| 6.2.1     | Uso para consumo humano (uso doméstico)                                      | 90        |
| 6.2.2     | Uso para Riego   | 90        |
| 6.3       | Demanda ecológica (caudal ecológico)   | 91        |

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 6.4         | Demanda total de agua                            | 92         |
| 6.5         | Análisis de resultados                           | 93         |
| <b>VII</b>  | <b>COMPARACIÓN OFERTA - DEMANDA</b>              | <b>96</b>  |
| 7.1         | Disponibilidad de microcuenca “A”                | 96         |
| 7.2         | Disponibilidad de microcuenca “B”                | 96         |
| 7.3         | Disponibilidad del sistema de riego “El Riecito” | 97         |
| 7.4         | Posibles escenarios de uso del agua              | 97         |
| 7.4.1       | Escenario actual                                 | 97         |
| 7.4.2       | Escenario equitativo                             | 98         |
| 7.4.3       | Escenario de expansión de la zona                | 98         |
| <b>VIII</b> | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>            | <b>99</b>  |
| 8.1         | Conclusiones                                     | 99         |
| 8.2         | Recomendaciones                                  | 103        |
|             | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                | <b>105</b> |
|             | <b>APENDICES</b>                                 | <b>109</b> |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b> | <b>CONTENIDO</b>   | <b>PAG.</b> |
|---------------|--|-------------|
| 3.1           | Ubicación esquemática del área de estudio.   | 14          |
| 3.2           | Precipitación media mensual histórica de las estaciones La Cristalina y Trujillo-liceo.                    | 18          |
| 3.3           | Esquema del gradiente altotérmico.   | 20          |
| 3.4           | Temperaturas medias estimadas para la finca “Las Calderas”.  | 21          |
| 4.1           | Mapa topográfico de la zona de estudio.  | 23          |
| 4.2           | Mapa de la red de drenaje natural de la zona de estudio.   | 24          |
| 4.3           | Ubicación espacial de estaciones pluviométricas.   | 26          |
| 4.4           | Curva doble masa. Estación dudosa: La Cristalina.  | 30          |
| 4.5           | Curva doble masa. Estación dudosa: San Lázaro.   | 30          |
| 4.6           | Curva doble masa. Estación dudosa: Santiago de Trujillo.   | 31          |
| 4.7           | Curva doble masa. Estación dudosa: Trujillo - liceo.   | 31          |
| 4.8           | Precipitación media mensual en la finca “Las Calderas”.  | 35          |
| 5.1           | Pluviómetro elaborado artesanalmente.  | 39          |
| 5.2           | Envase A.  | 43          |
| 5.3           | Prueba de captación de lluvia artificial.  | 44          |
| 5.4           | Punto de aforo 1 y delimitación de la microcuenca “A”.   | 47          |
| 5.5           | Estructura tipo vertedero.   | 47          |
| 5.6           | Dimensiones del recipiente. Método volumétrico.  | 48          |
| 5.7           | Medición de la altura inclinada de agua recolectada.   | 49          |
| 5.8           | Indicación de las áreas y volúmenes del recipiente.  | 50          |
| 5.9           | Punto de aforo2 y delimitación de la microcuenca “B”.  | 52          |
| 5.10          | Tramo donde se aplicó en método del flotador.  | 53          |
| 5.11          | Bastón de Jens.  | 55          |
| 5.12          | Curva de duración de caudales para la microcuenca “A”.   | 59          |
| 5.13          | Curva de duración de caudales para la microcuenca “B”.   | 60          |
| 5.14          | Gráfico relación precipitación-escorrentía.  | 61          |
| 5.15          | Precipitación desde el 01/11/11 a 18/02/12 de estaciones vecinas y del área de estudio.                    | 63          |
| 5.16          | Precipitación anual de la estación Trujillo-liceo (1968-2011).   | 64          |
| 6.1           | Curva del coeficiente del cultivo (Kc): Apio.  | 74          |
| 6.2           | Curva del coeficiente del cultivo (Kc): Pimentón.  | 74          |
| 6.3           | Curva del coeficiente del cultivo (Kc): Tomate.  | 75          |
| 6.4           | Resultados de análisis de suelo hecho para las diferentes unidades parcelarias de la finca “Las Calderas”. | 79          |
| 6.5           | Representación de los valores del balance hídrico: Apio.   | 81          |
| 6.6           | Representación de los valores del balance hídrico: Pimentón.   | 83          |
| 6.7           | Representación de los valores del balance hídrico: Tomate.   | 85          |

## LISTA DE TABLAS

| <b>TABLA</b> | <b>CONTENIDO</b>  | <b>PAG.</b> |
|--------------|---|-------------|
| 3.1          | Precipitación media mensual histórica (mm) de las estaciones La Cristalina y Trujillo-liceo.              | 17          |
| 3.2          | Datos de temperatura media del 2005, aportados por la estación meteorológica de Valera.                   | 20          |
| 3.3          | Temperaturas medias estimadas la finca “Las Calderas”.  | 21          |
| 4.1          | Precipitación (Ppt) media mensual en la finca “Las Calderas”.   | 35          |
| 5.1          | Datos de precipitación de los días efectivos de registro.   | 42          |
| 5.2          | Datos de prueba del nivel de confianza.   | 44          |
| 5.3          | Resultandos de la calibración.  | 45          |
| 5.4          | Obtención del factor de corrección U.   | 46          |
| 5.5          | Comparación de aforos y su respectivo factor de rectificación.  | 57          |
| 5.6          | Resumen de caudales (Q) para 95 y 50 % de probabilidad.   | 61          |
| 5.7          | Precipitación (mm) durante tres meses y medio de estaciones vecinas y del área de estudio.                | 62          |
| 5.8          | Precipitación (mm) para los meses de estudio en la estación Trujillo-liceo (Noviembre 2011 a Enero 2012). | 65          |
| 5.9          | Resumen de corrección de caudales (l/s).  | 65          |
| 5.10         | Rendimiento de las microcuencas “A” y “B”.  | 65          |
| 6.1          | Eto (mm/día) hallado con el software “Eto Calculator”.  | 72          |
| 6.2          | Valor de Kc para el Apio ( <i>Apium graveolens</i> ).   | 73          |
| 6.3          | Valor de Kc para el Pimentón ( <i>Capsicum annum</i> ).   | 73          |
| 6.4          | Valor de Kc para el Tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> ).  | 74          |
| 6.5          | Resumen de Eto, Kc y Et: Apio.  | 75          |
| 6.6          | Resumen de Eto, Kc y Et: Pimentón.  | 76          |
| 6.7          | Resumen de Eto, Kc y Et: Tomate.  | 76          |
| 6.8          | Precipitación efectiva (mm), Pe, estimada para la finca “Las Calderas”.                                   | 77          |
| 6.9          | Descripción general del suelo de parcelas (finca “Las Calderas”).   | 80          |
| 6.10         | Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD I.   | 80          |
| 6.11         | Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD II.  | 80          |
| 6.12         | Balance hídrico agrícola: Apio. UNIDAD III.   | 81          |
| 6.13         | Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD I.   | 82          |
| 6.14         | Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD II.  | 82          |
| 6.15         | Balance hídrico agrícola: Pimentón. UNIDAD III.   | 83          |
| 6.16         | Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD I.   | 84          |
| 6.17         | Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD II.  | 84          |
| 6.18         | Balance hídrico agrícola: Tomate. UNIDAD III.   | 84          |
| 6.19         | Déficit hídrico (mm/mes) por cada unidad de suelo: Tomate.  | 85          |
| 6.20         | Resumen de caudales módulo (l/s/ha) para los cultivos en estudio.   | 87          |
| 6.21         | Crecimiento poblacional de la zona en estudio.  | 89          |
| 6.22         | Resumen de demandas de agua en la microcuenca “A”.  | 92          |
| 6.23         | Resumen de demandas de agua en la microcuenca “B”.  | 93          |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>SÍMBOLO</b> | <b>DEFINICIÓN</b>   |
|----------------|---|
| Cm             | Centímetro  |
| Hidroven       | C.A. Hidrológica de Venezuela   |
| Q              | Caudal  |
| Kc             | Coefficiente del cultivo  |
| C.D.C.         | Curva de Duración de Caudales   |
| Hidroandes     | Empresa hidrológica de la región de Los Andes                             |
| Eto            | Evapotranspiración del cultivo de referencia                              |
| Etp            | Evapotranspiración potencial  |
| Et             | Evapotranspiración real o de un cultivo en particular                     |
| U              | Factor de corrección (pluviómetro)  |
| S              | Factor de rectificación (método de aforo)                                 |
| °              | Grado (coordenada geográfica)   |
| °C             | Grados Celsius  |
| Ha             | Hectárea  |
| H              | Hora  |
| L              | Litro   |
| Max            | Máximo (a)  |
| Med            | Medio (a)   |
| M              | Metro   |
| m.s.n.m.       | Metros sobre el nivel del mar   |
| Mg             | Miligramos  |
| ml             | Mililitros  |
| Mm             | Milímetro   |
| Min            | Mínimo(a)   |
| M.P.P.A.       | Ministerio del Poder Popular para el Ambiente                             |
| '              | Minuto (coordenada geográfica)  |
| FAO            | Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación |
| %              | Porcentaje  |
| Pe             | Precipitación efectiva  |
| S              | Segundo   |
| ''             | Segundo (coordenada geográfica)   |
| Σ              | Sumatoria   |
| To             | Tiempo de operación   |

## LISTA DE APÉNDICES

| APÉNDICE | CONTENIDO   | PAG. |
|----------|---|------|
| <b>A</b> |   | 110  |
| A.1      | Información de precipitación mensual original de la estación pluviométrica Trujillo-liceo suministrada por el M.P.P.A.  | 111  |
| A.2      | Información de precipitación mensual original de la estación pluviométrica del páramo La Cristalina suministrada por el M.P.P.A.  | 114  |
| A.3      | Información de precipitación mensual original de la estación pluviométrica del páramo de Ortiz suministrada por el M.P.P.A.   | 117  |
| A.4      | Información de precipitación mensual original de la estación pluviométrica de San Lázaro suministrada por el M.P.P.A.   | 119  |
| A.5      | Información de precipitación mensual original de la estación pluviométrica de Santiago de Trujillo suministrada por el M.P.P.A.   | 121  |
| A.6      | Método analítico para estimar dato faltante del año 2000 para las estaciones de San Lázaro (Serial: 2115) y de Santiago de Trujillo. (Serial: 2185), utilizando la ecuación de la línea de tendencia. | 124  |
| A.7      | Datos anuales de precipitación estimados para generar el gráfico de doble masa, expresados en mm (44 años).   | 125  |
| A.8      | Valores acumulados de las estaciones pluviométricas, expresado en mm (44 años).   | 126  |
| A.9      | Estimación de datos mensuales de precipitación (mm) para las estaciones pluviométricas en estudio.  | 127  |
| A.10     | Mapas de Isoyetas generados para el área de estudio, ilustrados por meses.  | 129  |
| <b>B</b> |   | 132  |
| B.1      | Resultados de aforos en la microcuenca “A” y “B”.   | 133  |
| B.2      | Registros realizados en el punto de aforo 2, afectados por el factor S.   | 134  |
| B.3      | Salida (corrida) del software “Modelo AJUSTEHU”.  | 135  |
| B.4      | Datos pluviométricos diarios de las estaciones para los meses en estudio.   | 137  |
| B.5      | Datos de la estación Trujillo-liceo (serial: 2156) para un período de 44 años.  | 147  |
| B.6      | Resultados de análisis físico-químico de muestras de agua de las corrientes naturales de las microcuencas en estudio.   | 148  |

## RESUMEN

El presente trabajo consistió en la estimación la oferta y demanda hídrica con fines de riego en la finca “Las Calderas”, ubicada en el municipio Trujillo del estado Trujillo. Este surgió dada la necesidad de conocer la cantidad de agua que necesitan cultivos hortícolas al momento de producirlos en esta finca. Se encontraron dos fuentes de suministro de agua superficial, una emana de una microcuenca adyacente a la finca de la que los habitantes de la zona hacen uso, y aguas abajo de ésta se halla la segunda fuente de agua superficial. Se realizó un estudio hidrológico en éstas dos corrientes de agua para conocer sus ofertas y demandas hídricas. Durante tres meses y medio se realizaron mediciones de dos parámetros hidrológicos: caudal y precipitación. Para el primero se establecieron puntos de aforo en sitios de interés, generando dos microcuencas, una de 0,377 km<sup>2</sup> (microcuenca “A”) y 2,215 km<sup>2</sup> (microcuenca “B”). Toda la información registrada de caudales se sometió a un análisis estadístico afectándolos por un factor de precipitación de meses secos históricos, estimando las ofertas de las microcuencas “A” y “B” de 4,53 l/s y 11,14 l/s respectivamente. Se determinó las necesidades hídricas de tres cultivos hortícolas (Apio, Pimentón y Tomate) para la finca “Las Calderas”, demandando un caudal de 1,00 l/s. Igualmente, para los habitantes de la zona se estimó una demanda de 0,63 l/s proyectada para los próximos 25 años, siendo la demanda de agua total estimada de 2,21 l/s y 3,03 l/s para las microcuencas “A” y “B” respectivamente. Del análisis oferta-demanda se determinó que la finca “Las Calderas” puede producir estos tres cultivos hortícolas ya que la oferta de agua cubre completamente la demanda hídrica de los cultivos.

**Palabras claves:** Precipitación, Caudal, Aforos, Oferta, Demanda.

Estudio de estimación de oferta y demanda hídrica con fines de riego en la finca “Las Calderas”, parroquia Monseñor Carrillo, municipio Trujillo del estado Trujillo, financiado por el CDCHTA-ULA bajo el número NURR-C-540-11-01-F.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Asegurar los alimentos y el agua suficiente para todos y lograr el desarrollo rural sostenible y los medios de vida para las generaciones actuales y las futuras, depende de la gestión responsable de los recursos naturales. En la actualidad, la agricultura en general está dirigida u orientada a producir más cultivos por cada litro de agua, por lo que se debe intensificar la conservación de los preciosos recursos hídricos y la promoción al acceso equitativo a los mismos.

La demanda del agua se incrementa proporcionalmente al crecimiento de la población y su desarrollo, lo cual hace suponer que un déficit de la oferta del recurso hídrico da lugar a un conflicto social, por lo que si aceptamos que la tendencia de la demanda será siempre a aumentar, llegaremos a un momento en el que ésta última será siempre mayor que la oferta, lo cual solo podría generar un conflicto social crónico. Por otra parte, el desarrollo económico hace que el abanico de demandas de éste recurso natural sea cada vez más amplio y activo. A esta tendencia se contraponen el hecho de que la disponibilidad es limitada —como todo en el planeta— y los consecuentes problemas relativos a su oferta van ligados a riesgos de que se agrave la creciente competencia entre sus usuarios.

Venezuela es considerado un país con un gran potencial hídrico gracias a sus formaciones geológicas que favorece al sector agrario para desarrollar e impulsar sus producciones, agregando también su posición geográfica y los distintos pisos térmicos con que se cuenta, desarrollándose así una variada gama de rubros apoyando la economía y por ende la seguridad alimentaria del país. Por tanto, es necesario promover y desplegar proyectos agrícolas para producción de alimentos, teniendo en cuenta en todo momento el uso racional del agua.

La finca “Las Calderas” ubicada en la parroquia Monseñor Carrillo, municipio Trujillo del estado Trujillo tuvo sus tierras en producción hace más de 7 años, y que ahora gran parte de sus áreas con potencial agrícola son barbechos. Se desea recomenzar con la producción agrícola, pero se desconoce la cantidad de agua que pueda ser utilizada para suplir las demandas hídricas de los futuros cultivos que se desean implantar. Además, se debe señalar que no existe infraestructura con fines de riego. Es decir, se tiene una superficie sin ningún plan ni programa para aplicar el riego. Esto indica que no se conoce la cantidad de agua con que pueda contar ésta finca, ya que nunca se tuvo la necesidad ni el interés de cuantificarla. Hoy día con el crecimiento demográfico y productivo, agregando las variaciones del clima y por lo tanto la hidrología de la zona, se hace necesario administrar y conservar de una manera efectiva el recurso agua. He aquí donde surge el interés de estimar la oferta hídrica para el área de estudio y, seguidamente conocer el agua requerida por los cultivos para así poder conocer la superficie regable de la finca en función de éstas dos variables.

Este estudio permitirá definir o no la realización de algún proyecto, teniendo en cuenta la planificación y programación, adecuada, para el uso del agua con fines de riego. Se requiere por tanto, la elaboración de un proyecto que de soluciones a la necesidad planteada, en un todo con la conservación y administración que el recurso agua debe tener. Es así como se plantea el proyecto de la estimación de oferta y demanda hídrica con fines de riego para la finca en cuestión.

## **OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Objetivo General:**

Estimar la oferta y demanda hídrica con fines de riego en la finca “Las Calderas”, parroquia Monseñor Carrillo, municipio Trujillo del estado Trujillo.

### **Objetivos Específicos:**

- ∞ Realizar la caracterización físico natural del área de estudio.
- ∞ Estimar la oferta hídrica en la finca.
- ∞ Estimar las demandas hídricas por los cultivos a implementar.
- ∞ Determinar el área regable en la finca.

## **DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto está programado realizarlo en la finca “Las Calderas” ubicada en el sector Las Calderas, parroquia Monseñor Carrillo, municipio Trujillo del estado Trujillo, entre los kilómetros 14 y 15 de la antigua carretera Trujillo (San Jacinto – Boconó).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Trezza (2008) en su trabajo de investigación “Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar?” analizó varias metodologías disponibles para realizar estimaciones de la evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela a partir de información de estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes regiones del país. Se encontró que los procedimientos más aplicables para condiciones climáticas son los incluidos en la publicación de la FAO-56, especialmente el método de la FAO Penman-Monteith. Este estudio permite tener en cuenta los métodos indicados para la estimación de la demanda hídrica.

El trabajo realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.) tiene como objetivo principal calcular un indicador llamado “Índice de escasez” que relaciona la oferta y demanda hídrica para las fuentes superficiales abastecedoras. Esta investigación enumera los sistemas proveedores de datos y las técnicas necesarias para la generalización de la oferta y demanda de agua. En conclusión presenta los alcances del índice de escasez evaluado para distintos dominios de aplicación y señala la forma de interpretación de sus magnitudes en función de la disponibilidad y precisión de la información hidrometeorológica y socioeconómica utilizada para obtenerlo.

El trabajo de grado de Rodríguez y Ruíz (2008) se basó en la estimación preliminar de la oferta de agua en las microcuencas quebradas “El Cacho” y “Mucumbás” como fuente de suministro a la población de Timotes- estado Mérida, el cual tenía como objetivo suministrar y generar información de éstas cuencas en cuanto a las principales fuentes de abastecimiento de agua, ya que la mencionada población padecía un mal suministro de agua potable. Para lograr esto se realizaron aforos semanales para registrar las fluctuaciones de caudal, las que fueron posteriormente sometidas a análisis estadísticos para determinar la oferta de la fuente y corregidos por un factor de precipitación de los meses más secos.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### Recurso Agua:

Según Rojas (1978) el agua tiene gran importancia en el funcionamiento de las plantas y en su comportamiento ecológico. La misma tiene efectos en el desarrollo vegetal al afectar la mayor parte de los procesos fisiológicos y de las condiciones internas de las plantas.

En ese mismo sentido, Rojas (1977) señala:

Cada proceso vegetal está directamente o indirectamente afectado por la suplenencia de agua. Dentro de ciertos límites, la actividad metabólica de células y plantas se encuentra estrechamente relacionada con su contenido hídrico. Por ejemplo, la respiración de semillas jóvenes, en proceso de maduración, es muy alta, pero disminuye regularmente al reducirse el contenido hídrico. También es muy conocido el hecho de que la mayoría de las semillas requieren un nivel mínimo de agua para el proceso de la germinación. Una reducción del contenido de agua disminuye el coeficiente de fotosíntesis y generalmente también la respiración. (p. 1).

Es evidente entonces que un déficit de agua sería contraproducente para los cultivos, este efecto puede evitarse asegurándole a las plantas humedad en el suelo. Un mecanismo —también llamado por algunos autores práctica o actividad agrícola— usado para esto es el **riego**, definido por Israelsen y Hansen citados por Grassi (1988), como la aplicación artificial de agua al terreno, con el objeto básico de suministrar a los cultivos la humedad necesaria para su desarrollo. Además de esto, dichos autores señalan que el riego cumple con los siguientes objetivos:

- ∞ Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- ∞ Enfría el suelo y la atmósfera para, de esta forma, mejora las condiciones ambientales en bien del desarrollo vegetal.
- ∞ Llevar o diluir sales contenidas en el suelo.
- ∞ Reducir el peligro de erosión por la formación de cauces naturales de drenaje.

∞ Ablandar los terrones de tierra.

Cuando el suelo tiene un nivel de saturación de agua, es necesario una evacuación de ésta, ya que dicha condición retrasa la germinación de semillas, interrumpe el desarrollo de las plantas (excepto el arroz y los cultivos resistentes a inundación), dificulta las labores culturales, promueve la salinización, entre otros. Es por esto que Grassi (1988) indica que la palabra riego debe ir involucrada con las acciones complementarias de drenaje, pues se trata de crear un ambiente adecuado para las plantas, a fin de obtener la mayor producción de la tierra en la cual crecen, lo que implica compensar el déficit como eliminar excesos.

Si se desea cultivar, regar, producir en algún terreno, se debe tener en cuenta la **fuentes abastecedora del agua** de la que se aprovechará el recurso hídrico. Es por ello que “el recurso de agua disponible para su uso en el predio debe estudiarse en cuanto a tipo de abastecimiento o fuente, cantidad, calidad, oportunidad y derechos a su uso.” (Grassi, 1981, p. 22).

Guevara (1990) indica que en la naturaleza existen varias fuentes, que han sido aprovechadas por el hombre desde inicios de la civilización en la necesidad de disponer de volúmenes de agua para satisfacer la demanda de riego.

Los tipos de fuentes más comunes para riego son:

- ∞ Las precipitaciones.
- ∞ Aguas superficiales.
- ∞ Aguas subterráneas.

Por su parte Grassi (1990) indica que otra fuente de agua puede provenir desde un sistema de riego, o una obra comunitaria de unos pocos regantes.

Con respecto a los beneficios que presta la **precipitación**, Guevara (1990) señala que éstos dependen de los siguientes aspectos o requisitos:

- Que la humedad proporcionada por la lluvia pueda reponer la agotada en la zona donde se encuentran las raíces de las plantas (zona radicular).
- Que pueda garantizar el suministro de humedad de forma oportuna.
- La intensidad debe ser baja para evitar el escurrimiento superficial.

“El **agua superficial** proviene de los escurrimientos superficiales que viajan desde los puntos más altos (de cota máxima) en la región, y se desplazan a los puntos más bajos atravesando a las regiones planas, y llegan hasta formar los cauces naturales o ríos.”(Guevara, 1990, p. 85).

Estos cauces naturales pueden constituir fuentes directas de derivación o se puede requerir la construcción de una obra de embalse para la regulación del caudal, esto en función del régimen hídrico de dichos cauces naturales.

El **agua subterránea** es producto de la saturación de los espacios vacíos en el interior de los suelos. Esta se aloja en los acuíferos –formaciones geológicas, en que ésta se acumula y que son capaces de cederla– bajo la superficie de la tierra. El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece gran parte de la población mundial, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

**Las aguas superficiales y subterráneas** no siempre están aisladas, según esto se ha citado a Chereque (s.f.) que indica que las aguas del subsuelo, como las aguas superficiales, provienen de las lluvias. No son independientes unas de otras, sino que, por el contrario, están muy ligadas entre sí. Muchas corrientes superficiales reciben agua del subsuelo y, a su vez, el agua del subsuelo se realimenta de las aguas superficiales.

Estas fuentes ofertan cantidades de agua que debe estimarse para la posterior utilización agrícola, teniendo como premisa el uso racional de la misma. Esta se puede clasificar como:

- ∞ **Oferta hídrica** por precipitación meteórica
- ∞ **Oferta hídrica** superficial.

∞ **Oferta hídrica** subterránea.

Grassi (1975) indica que la lluvia 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. A todo esto se le llama **oferta hídrica por precipitación**.

Al ocurrir la precipitación meteorológica, antes que el agua cambie de estado y pase a la atmósfera nuevamente, puede ser represada sobre la superficie de la tierra para su uso posterior. Por ejemplo, utilizando terrazas, se puede represar eficientemente el agua para su uso en el riego de campos de arroz y de otros cultivos. También se utilizan estanques pequeños que ayudan a diversificar las actividades agrícolas. En áreas rurales, éstos son adecuados para represar el agua y utilizarla en el hogar, la irrigación de huertos, bebederos de animales y la acuicultura.

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.) señala que **por oferta hídrica superficial** se entiende aquella 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 directa o indirectamente al mar.

Se entiende por **oferta de agua subterránea** aquel volumen de agua que se encuentra en los acuíferos (formaciones geológicas que permiten la circulación del agua a través de poros interconectados entre sí) que pueden ser aprovechadas para su posterior uso en el sector industrial, agrícola, urbano, entre otros. Éste tipo de oferta escapa del alcance de la presente investigación, por lo que no se hará énfasis en éste amplio tema.

De manera general Grassi (2001) señala:

La **disponibilidad de recursos hidráulicos** de una región depende, en buena medida, de las condiciones climáticas e hidrológicas, así como de la índole o naturaleza fisiográfica, topográfica y edafológica, y de las

interrelaciones entre ellas, que dan a las mismas características particulares, esto es, auténticas. (p. 2).

Es conveniente citar a Celis (s.f.) que indica en su trabajo que la **disponibilidad de agua** en un lugar sea esta superficial o subterránea condiciona la **oferta disponible** para uso doméstico, industrial y agrícola. A su vez ésta depende del grado de precipitación pluvial en la zona y de la capacidad de absorción del terreno, que permita la recarga de los mantos acuíferos. Por lo tanto para poder garantizar a los usuarios la disponibilidad y darles certeza sobre el uso de este recurso a través del tiempo, es necesario promover las prácticas de un mejor uso del agua, así como de la conservación del medio ambiente.

En lo que respecta a la importancia de la **demanda hídrica** para riego, Grassi (1998) indica que desde que se inicio la ciencia del riego, ha habido constante preocupación por elaborar procedimientos estimativos del consumo hídrico por los cultivos, ante la necesidad de planificar y programar, apropiadamente, el uso de un recurso escaso como lo es el agua.

Según Boueri y otros (2005) indican que la **demanda de hídrica** de cualquier cultivo, se define como la cantidad de agua que debe tener el suelo para que la planta pueda satisfacer sus procesos fisiológicos y poder tener un desarrollo óptimo.

Esta demanda hídrica por parte de los cultivos, está constituida por la **evapotranspiración**, que según Trezza (2008), es la combinación o suma de la evaporación, que es la que ocurre en las superficies húmedas y cuerpos de agua, y de la transpiración, que es la que ocurre a partir de la vegetación natural y los cultivos.

En cuanto a la determinación de la evapotranspiración, Grassi (1998) indica:

Dado que la evapotranspiración o uso consuntivo es el resultado de una serie de fenómenos complejos, dependientes de gran número de variables, se han desarrollado muchas ecuaciones – tal vez demasiadas – tratando de abarcar mayores variaciones en las condiciones climáticas. (p. 97).

Un ejemplo de esto, son los métodos señalados por Grassi (1998) que se basan en la medida del estatus del agua en uno o más componentes del sistema suelo-planta-atmósfera.

Estos métodos, que requieren la medición de distintos datos, son: ecuaciones aerodinámicas, de balance de energía, combinadas [Penman, Penman-Monteih (Penman, 1948)]; basados en la radiación (Jensen y Haise, 1963); FAO (Dorembos y Pruitt, 1976); Turk (1954), basados en la medición de la evaporación [FAO, Grassi-Christiansen (Grassi, 1964); Norero (1976)]; procedimientos basados en datos climáticos [Blaney-Criddle (1950); Hargreaves y Samani (1985)].

Siguiendo este orden de ideas, Grassi (1998) indica que algunos de los procedimientos con los que se calcula la evapotranspiración, parten de un planteo racional, mientras que otros tienen una base totalmente empírica. Además, algunos requieren un número elevado de factores meteorológicos, que sólo se obtienen en las escasas estaciones de primera clase, mientras que otros se apoyan en datos fácilmente disponibles.

Por su parte Boueri y otros (2005) indican que la obtención de la **evapotranspiración** se debe basar fundamentalmente en el conocimiento de las condiciones climáticas, edáficas y de cultivo.

Sin embargo, Boueri y otros (2005) indican que muchas de estas variables son difíciles de cuantificar por falta de equipos o instrumentos, bien sea por el costo que éstos representan o por la imposibilidad de monitorearlos eficazmente, por esta razón, las formulas empíricas que permiten calcular el consumo de agua surgen como una respuesta.

En cuanto a la estimación de la demanda hídrica por los cultivos, Grassi (1998) expresa lo siguiente:

La ingeniería del riego ha tenido preferencia por los procedimientos empíricos o semi-empíricos, basados en datos climáticos fáciles de obtener, y es lógico que sea así, ya que la planificación, diseño y construcción de proyectos se realiza generalmente en nuevas tierras, donde no se cuenta con la información requerida para aplicar procedimientos más elaborados. (p.97).

Trezza (2008) indica que la evapotranspiración representativa de una región geográfica puede ser expresada como **evapotranspiración potencial**, o como **evapotranspiración del cultivo de referencia**, la forma utilizada en la actualidad. La

Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, citado por Trezza (2008) define la **evapotranspiración potencial** como la tasa de evapotranspiración que ocurre a partir del conjunto de suelo húmedo y plantas, cuando no existen limitaciones de agua, y representa la evapotranspiración máxima que podría ocurrir a partir de una superficie cubierta con vegetación.

Ahora bien, Doorenbos y Pruitt citados por Boueri y otros (2005) introdujeron el término de **evapotranspiración de referencia o evapotranspiración del cultivo de referencia** como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes, de 8 a 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo, que sombrean totalmente el suelo y que no escasean de agua. Este último concepto fue desarrollado para sustituir, por razones prácticas, al término evapotranspiración potencial. Allen y otros, citado por Trezza (1998) señala que posteriormente, se hizo más preciso el concepto y se definió como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas en crecimiento activo y sin limitaciones de agua, con 12 cm de altura, un valor fijo de resistencia de la superficie de  $70 \text{ s.m}^{-1}$  y un albedo de 0,23. Sin embargo, Grassi (1998) indica que estas condiciones, es decir, para una cobertura vegetal y nivel de humedad en el suelo constante, la evapotranspiración depende de los factores climáticos, y está débilmente influenciada por la especie vegetal de que se trata.

“En la práctica, los cultivos sometidos a riego se alejan mucho de tales condiciones, por lo cual la evapotranspiración del cultivo de referencia debe ser corregida para obtener la real o verdadera” (Grassi, 1998, p.100). La **evapotranspiración real**, o evapotranspiración de un **cultivo en particular**, según Kijne citado por Grassi (1998), “es la cantidad real de vapor de agua transferida a la atmósfera, que depende no sólo de las condiciones meteorológicas existente, sino también de la disponibilidad de agua para satisfacer la demanda evapotranspiratoria y, en el caso de la vegetación, de su habilidad para extraer humedad del suelo”. (p. 100).

La evapotranspiración de un cultivo ( $E_t$ ), según Allen (2006) será diferente a la del cultivo de referencia ( $E_{to}$ ) en la medida en que sus características de cobertura del suelo,

propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporadas en el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando  $E_{to}$  por  $K_c$ .

Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos de campo y el pasto de referencia pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo ( $K_c$ ) o separadas en dos coeficientes: un coeficiente basal del cultivo ( $K_{cb}$ ) y un coeficiente de evaporación del suelo ( $K_e$ ), por lo que  $K_c = K_{cb} + K_e$ . El procedimiento a seguir dependerá del propósito de los cálculos, la exactitud requerida y la información disponible.

De acuerdo al enfoque del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo ( $E_t$ ) se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $E_{to}$  y el coeficiente del cultivo  $K_c$ :

$$E_t = K_c * E_{to} \quad (2.1)$$

Donde:

$E_t$ : Evapotranspiración del cultivo (mm/d).

$K_c$ : Coeficiente del cultivo (adimensional)

$E_{to}$ : Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d).

Allen (2006) indica en relación al cálculo de la  $E_{to}$  lo siguiente:

“La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de  $E_{to}$ . Por lo tanto, mientras  $E_{to}$  representa un indicador de la demanda climática, el valor de  $K_c$  varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo, así como de los valores de  $K_c$  desarrollados en estudios anteriores.”(p. 90).

## **CAPÍTULO III**

### **INFORMACIÓN BÁSICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Es necesario conocer las características generales de la zona donde se realiza la investigación, con el fin de planificar y programar, adecuadamente, el uso del agua con fines de riego.

#### **ASPECTOS FÍSICOS-NATURALES:**

##### **3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA**

###### **3.1.1 Política – Administrativa**

La finca “Las Calderas”, está ubicada en el Sector Las Calderas, parroquia Monseñor Carrillo, municipio Trujillo del estado Trujillo (Figura 3.1).

###### **3.1.2 Geográfica**

La finca se encuentra ubicada geográficamente entre las siguientes coordenadas: 9°21'11'' y 9°21'41'' de latitud Norte. 70°24'10'' y 70°24'35'' de longitud Oeste.

###### **3.1.3 Hidrográfica**

El área de estudio está ubicada al este de la ciudad de Trujillo; enmarcada en la microcuenca de la quebrada Playa de Gabino, que vierte sus aguas en el río Castán, tributario del principal río del estado, El Motatán, el que a su vez desemboca a la hoya hidrográfica del Lago de Maracaibo.

###### **3.1.4 Superficie y altitud**

El área de estudio total comprende una superficie de 34,52 ha, entre 1260 y 1480 m.s.n.m.



## 3.2 TOPOGRAFÍA Y RELIEVE

Esta es muy variada y se caracteriza por ser un paisaje fisiográfico montañoso, con pendientes que varían de suaves a pronunciadas con rangos que van desde 25% hasta un 80%.

## 3.3 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Según información recolectada en el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (M.P.P.A.) de la ciudad de Trujillo:

La caracterización y descripción de estas unidades litológicas, se realizó de forma generalizada, en función de las características principales y más representativas de las mismas, utilizando como fundamento la observación de campo.

### 3.3.1 Geología

- ∞ **Litología:** Predominantemente areniscas cuarzosas, a veces glauconíticas, asociadas a capas de calizas, distribuidas en varios niveles, características de la formación Aguardiente.
- ∞ **Permeabilidad:** Baja a media (Coeficiente 0.10).
- ∞ **Estructura:** Estratificada, con rumbo y buzamiento variado entre 38 y 750 de inclinación.
- ∞ **Edad:** Cretáceo, principalmente Albiense.
- ∞ **Sismicidad:** Altos riesgos sísmicos.

### 3.3.2 Geomorfología

Medios de ablación del tipo montañas medias, abruptas. Cadena de isoclinales adosadas a afloramientos metamórficos. Se caracterizan por presentar laderas muy pronunciadas y poco disectadas, con crestas en forma de planaltos. Medios

morfodinámicamente activos. Presencia de una erosión laminar generalizada. Localmente desprendimientos en masa.

### **3.4 USO ACTUAL DEL SUELO Y CAPACIDAD DE USO**

En el área de estudio y en zonas adyacentes, la actividad social y diaria está orientada a la agricultura a pequeña y a mediana escala.

Tradicionalmente, estos suelos han sido utilizados para producción de aguacates, musáceas, y sobre todo café. En la actualidad esto ha cambiado, inclinándose la producción hacia cultivos hortícolas como tomate, pimentón, repollo, calabacín, entre otros. Sin embargo, aún se cultivan las plantaciones antes mencionadas, algunos bajo el sistema agroforestal.

Por la variedad de diferentes rubros, se puede decir que la producción y el rendimiento de la zona son aceptables pudiendo satisfacer parte de la demanda del mercado regional.

### **3.5 VEGETACIÓN**

Según el M.P.P.A. (2011) ésta zona presenta bosque siempre verde con bajo dosel, mediana cobertura y medianamente intervenido (50% de cobertura del área).

### **ASPECTOS CLIMÁTICOS:**

El clima está fuertemente condicionado por el relieve que define el régimen térmico y, a través de su influencia sobre los vientos predominantes, el de las precipitaciones.

### 3.6 PRECIPITACIÓN

A diferencia de la zona central y oriental del país, las vertientes occidentales reciben la influencia de las masas de aire provenientes del Lago de Maracaibo, las que dan un régimen bimodal de precipitaciones: uno de abril a junio y otro de septiembre a noviembre con un periodo seco de enero a marzo, característica que domina la meteorología Trujillana.

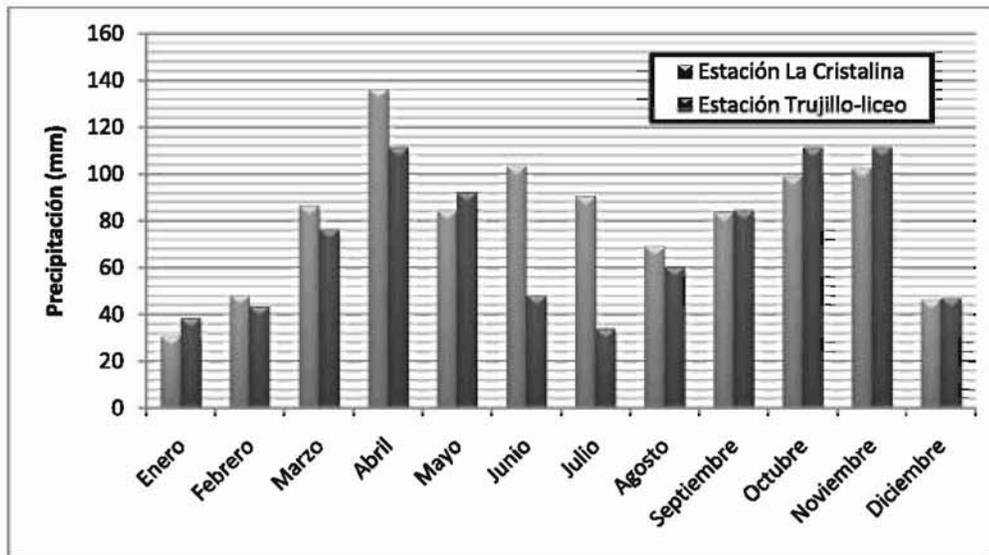
Sin embargo, el M.P.P.A. (2011) indica que la cuenca del río Castán no está expuesta a la influencia eólica del Lago de Maracaibo. La precipitación es el resultado de la influencia de los vientos alisios, provenientes del noreste, estos vientos vienen de Tonojón de Campos, Bujay, Misisí y el Páramo El Corazón donde tiene sus cabeceras el río Castán, caracterizados por ser cálidos y húmedos; penetran hacia la parte alta de la cuenca y se deslizan sobre las vertientes, se condensan y por convección originan en ciertas áreas fuertes y frecuentes precipitaciones.

Cabe destacar que la época de sequía no se hace notar en tan alto grado como en las tierras bajas, debido a que reciben las lluvias de las nubes que se forman al contacto de las laderas frías de las montañas, a partir de los 1500 metros de altitud (M.P.P.A., 2011).

El área de estudio se encuentra ubicada, en cuanto a data de información de precipitación, entre las estaciones pluviométricas del páramo La Cristalina y Trujillo-liceo. La precipitación media mensual histórica de ambas estaciones se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1:** *Precipitación media mensual histórica (mm) de las estaciones La Cristalina y Trujillo-liceo.*

| Mes                   | Ene. | Feb. | Mar. | Abr.  | May. | Jun.  | Jul. | Ago. | Sep. | Oct.  | Nov.  | Dic. | Anual         |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|---------------|
| <b>Cristalina</b>     | 30,7 | 48,1 | 86,3 | 136,2 | 84,2 | 103,2 | 90,3 | 68,9 | 83,3 | 98,9  | 102,2 | 46,1 | <b>1012,7</b> |
| <b>Trujillo-liceo</b> | 38,3 | 43,3 | 76,2 | 111,2 | 91,9 | 47,9  | 33,7 | 60,0 | 84,2 | 111,2 | 111,1 | 47,0 | <b>856</b>    |



**Figura 3.2:** Precipitación media mensual histórica de las estaciones La Cristalina y Trujillo-liceo

### 3.7 TEMPERATURA

La zona de estudio no cuenta con datos que registren esta variable climática; por tal motivo se hizo necesario estimar las temperaturas tomando como referencias los registros del servicio de meteorología de la estación de Valera “Antonio Nicolás Briceño”, ubicada en el municipio San Rafael de Carvajal, Estado Trujillo, Serial 7164.

En la capa atmosférica en contacto con la superficie de la tierra (tropósfera), la temperatura decrece con la altitud. Trezza (1997) indica que esta variación de la temperatura con la altura se denomina gradiente altotérmico y tiene un valor promedio de 0,65 °C por cada 100 m de altitud.

Usando el método del gradiente altotérmico, es posible estimar la temperatura de un sitio sin registros, partiendo de una zona que cuente con éstos. Para ello se utiliza la Ecuación 3.1.

$$T_x = T_c + \left[ \left( \frac{GVM}{100} \right) * (Altitud A - Altitud B) \right] \quad (3.1)$$

Donde:

Tx = Temperatura media desconocida o *temperatura media de la finca “Las Calderas”*, (°C).

Tc = Temperatura media conocida o *temperatura media de la estación meteorológica de Valera*, (°C).

GVM = Gradiente altotérmico; *0,65 (°C/m)*.

Altitud A = Altitud del sitio de temperatura conocida o *altitud de la estación meteorológica de Valera*, (m).

Altitud B = Altitud del sitio de temperatura desconocida o *altitud de la finca “Las Calderas”*, (m). *(Es importante aclarar que en éste caso se toma una altitud promedio, ya que los terrenos de la finca “Las Calderas” son inclinados, y se encuentran entre 2 cotas, siendo su diferencia de 220m verticales).*

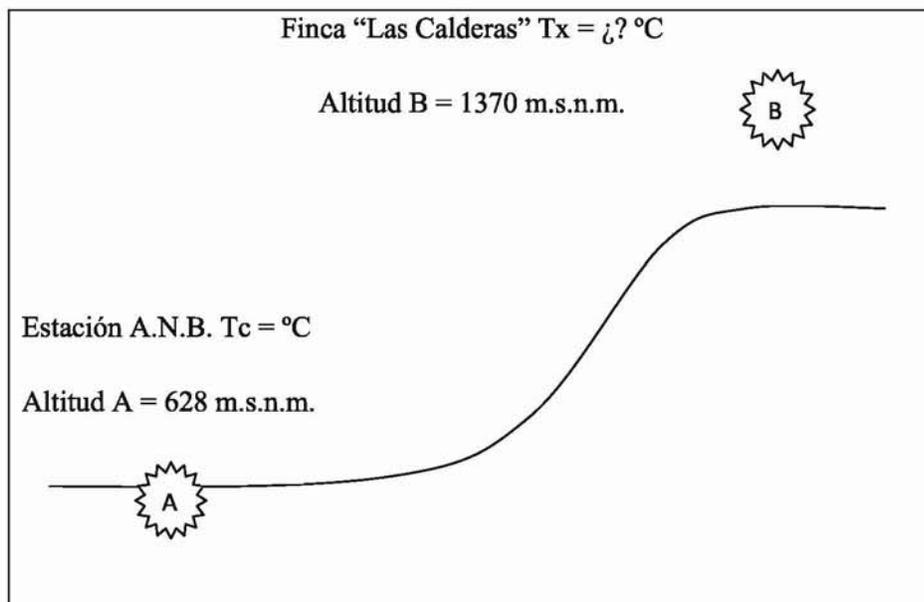
Trezza (1997) indica que la estimación de temperaturas medias a través de éste método requiere que los sitios de temperatura conocida y desconocida estén ubicados en zonas de condiciones geográficas similares, debido a que la variación de temperatura no se debe exclusivamente a la variación de altitud, sino que actúan otros factores como vegetación, presencia de vientos locales, exposición al sol, etc. Lo expuesto por éste autor se asemeja al caso particular del presente estudio, ya que las condiciones del lugar donde se encuentra la estación meteorológica de Valera en relación con la de la finca “Las Calderas” son distintas, es por ello que se está consciente del error de cálculo que esto pueda traer, sin embargo, éste es el único método disponible para hacer dicha estimación, razón de ello: carencia de estaciones meteorológicas que midan éste parámetro.

La temperatura desconocida Tx, corresponde a la finca “Las Calderas” y la temperatura conocida, Tc, corresponde a la registrada en la estación de Valera.

**Tabla 3.2:** Datos de temperatura (°C) del 2005, aportados por la estación meteorológica de Valera.

| Mes         | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Med.</b> | 23,6 | 23,9 | 25,8 | 25,5 | 25,1 | 25,8 | 25,8 | 25,6 | 25,6 | 24,5 | 24,2 | 23,6 |
| <b>Máx.</b> | 28,7 | 28,7 | 31,6 | 30,6 | 30,4 | 31,0 | 31,6 | 31,5 | 31,4 | 30,1 | 28,9 | 28,9 |
| <b>Min.</b> | 20,8 | 21,0 | 22,3 | 22,4 | 22,3 | 22,6 | 22,5 | 22,3 | 22,2 | 21,5 | 21,6 | 20,5 |

El planteamiento esquemático del método altotérmico se muestra en la Figura 3.3.



Adaptado de: Trezza (1997). **Figura 3.3:** Esquema del gradiente altotérmico.

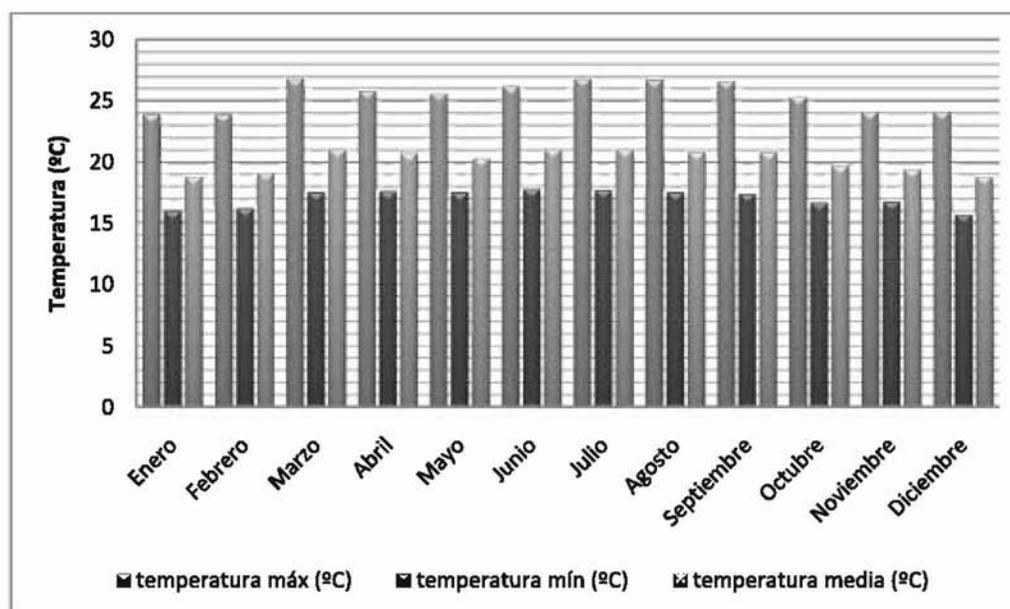
Utilizando la Ecuación 3.1, y adaptándola en cuanto a nomenclatura, para cada mes del año queda de la siguiente manera:

$$T_{\text{Las Calderas (mes)}} = T_{\text{Valera (mes)}} \left[ \left( \frac{0,65}{100} \right) * (\text{Altitud}_{\text{valera}} - \text{Altitud}_{\text{Las Calderas}}) \right]$$

Se realiza el mismo procedimiento para el resto de los meses. Los resultados se muestran en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3:** *Temperaturas (°C) estimadas la finca “Las Calderas”.*

| Mes         | Ene. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Med.</b> | 18,8 | 19,1 | 21,0 | 20,7 | 20,3 | 21,0 | 21,0 | 20,8 | 20,8 | 19,7 | 19,4 | 18,8 |
| <b>Máx.</b> | 23,9 | 23,9 | 26,8 | 25,8 | 25,6 | 26,2 | 26,8 | 26,7 | 26,6 | 25,3 | 24,1 | 24,1 |
| <b>Min.</b> | 16,0 | 16,2 | 17,5 | 17,6 | 17,5 | 17,8 | 17,7 | 17,5 | 17,4 | 16,7 | 16,7 | 15,7 |



**Figura 3.4:** *Temperaturas estimadas para la finca “Las Calderas”.*

## **CAPÍTULO IV**

### **INVENTARIO Y GENERACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA Y DE PRECIPITACIÓN**

#### **Generalidades**

Cuando se realiza un estudio en algún lugar, debe realizarse una recopilación de cualquier información que pueda ser útil para llevar dicho estudio a cabo. La zona donde se encuentra ubicada la finca “Las Calderas” carece de estudio hidrológico previo. Según las indagaciones hechas al personal del ente gubernamental Hidroandes y organismo gubernamental M.P.P.A., éste sería el primer estudio hidrológico realizado en dicha zona por lo que no se cuenta con estudios anteriores.

Se recurrió a buscar datos meteorológicos, topográficos, entre otros, para luego transformarlos en información útil que sirviese en la elaboración de la presente investigación.

#### **4.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA**

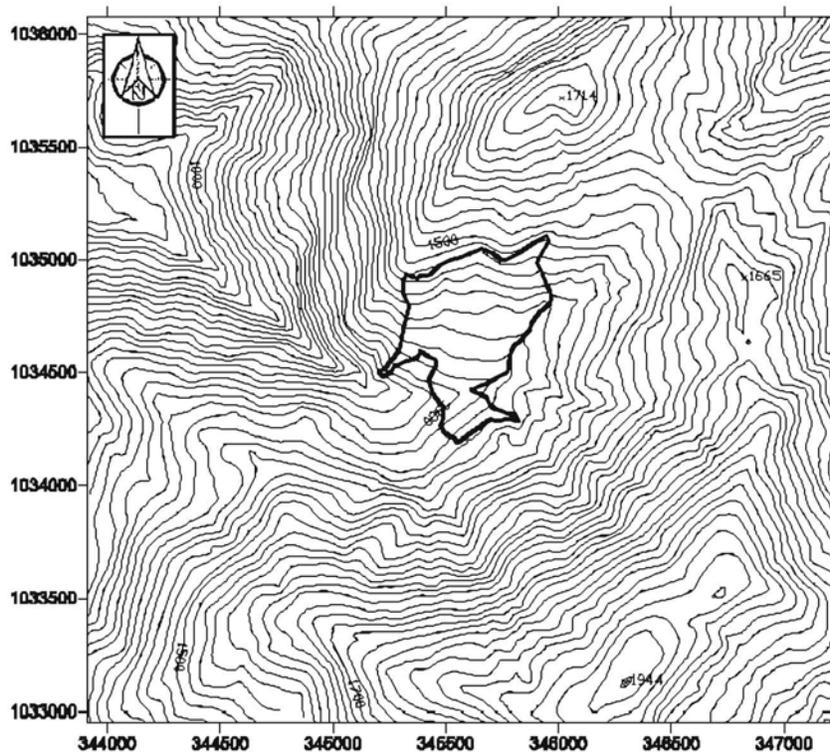
Se ubicó la carta nacional 6144CSO a escala 1:25000 del año 1999, a curvas de nivel cada 20 m.

Se encontró información histórica de las siguientes estaciones pluviométricas Trujillo-Liceo, La Cristalina, Ortiz, San Lázaro y Santiago de Trujillo, para realizar comparaciones y correlaciones por métodos estadísticos. Estos datos fueron facilitados por el M.P.P.A., en la oficina de Hidrometeorología.

De la misma manera, se hallaron datos de aforos realizados en la cuenca del Río Castán, los cuales fueron facilitados por el M.P.P.A.

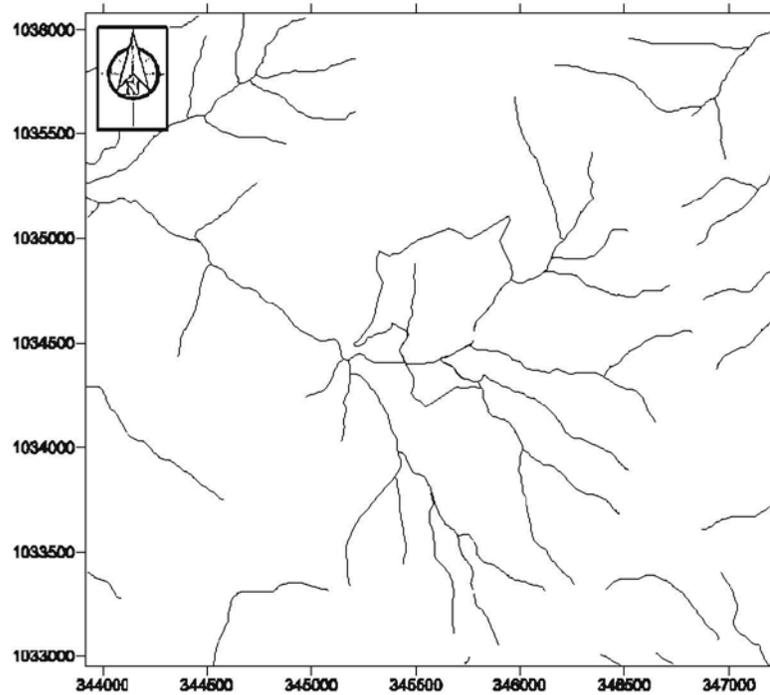
## 4.2 DIGITALIZACIÓN DE MAPAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La digitalización del Mapa topográfico –Curvas de Nivel– se hizo a partir de la carta nacional 6144CSO, ya mencionada, con curvas de nivel cada 20 m de equidistancia, para ello se utilizó el programa de diseño asistido por computadora Autodesk AutoCAD 2007. En la Figura 4.1 se muestra el resultado de la digitalización, los linderos de la finca “Las Calderas” está señalados en líneas rojas.



**Figura 4.1:** Mapa topográfico de la zona de estudio.

La digitalización de la red de drenaje del área de estudio se trabajó con base en la misma carta. Ésta digitalización se presenta en la Figura 4.2.



**Figura 4.2:** *Mapa de la red de drenaje natural de la zona de estudio.*

### **4.3 CONSTRUCCIÓN DE MAPAS ISOYÉTICOS**

#### **4.3.1 Precipitación media en la zona**

Debido que la lluvia se mide en estaciones que representan valores puntuales, se recurrió a un procedimiento que permitió transformar la lluvia puntual en información que sea representativa para toda el área.

El procedimiento que permite transformar las láminas de precipitación registrada de estaciones influyentes sobre un área determinada, en una lámina promedio repartida uniformemente sobre ella se denomina **método de las Isoyetas**.

Trezza (1997) indica que las Isoyetas son líneas que unen puntos de igual precipitación, y que su trazado se hace en forma similar a la elaboración de las curvas de nivel en un plano topográfico.

Según Guevara citado por Trezza (1997) éste método es el más preciso, debido que al trazar las Isoyetas se pueden considerar efectos del relieve sobre la distribución de las precipitaciones, así como la dirección de movimiento de tormentas, presencia de centros de alta y baja presión, entre otros.

Chereque (1989) corrobora la precisión del método de Isoyetas, e indica que al momento de la construcción de las curvas de Isoyetas, el ingeniero puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos.

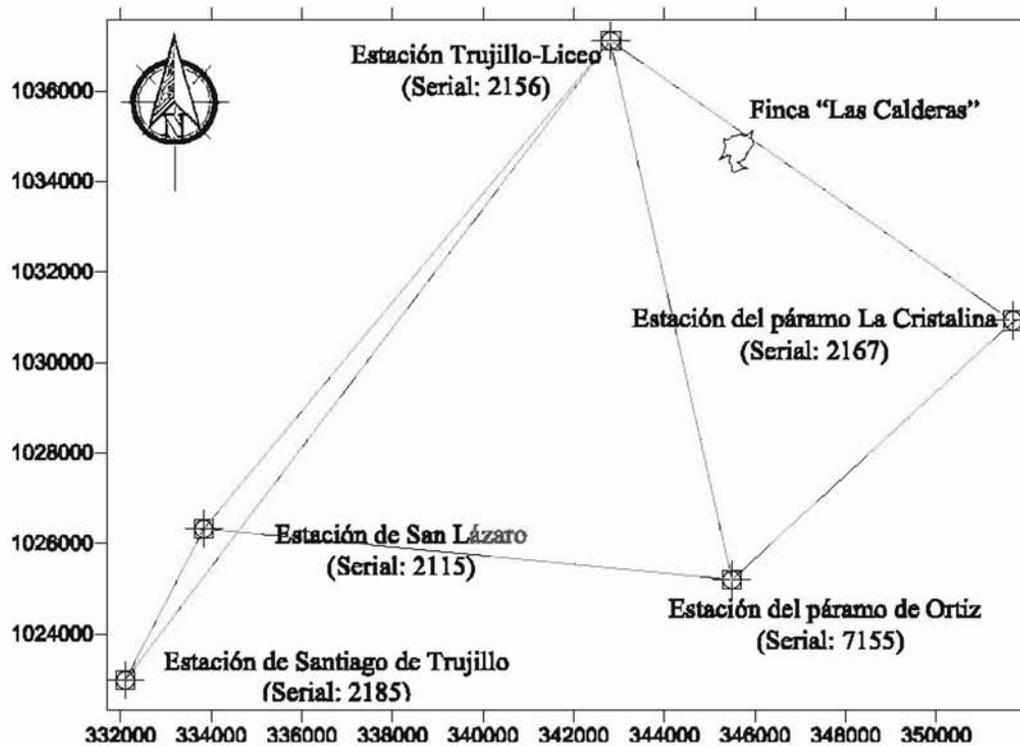
Igualmente, Lobo y otros (2006) indican que éste método, ha demostrado ser el de mayor precisión para la estimación de precipitaciones medias en un área geográfica. Sin embargo, su principal limitación es el alto nivel de trabajo que demanda, el cual sólo tiende a justificarse en el caso de valores de precipitación anual a lo menos; en el caso de una determinada tormenta no se justifica su utilización.

Para conocer la precipitación media en el área de estudio, se comenzó analizando la información de las estaciones pluviométricas mencionadas anteriormente:

- ∞ Estación Trujillo-Liceo (Serial: 2156)
- ∞ Estación del páramo La Cristalina (Serial: 2167)
- ∞ Estación del páramo de Ortiz (Serial: 7155)
- ∞ Estación San Lázaro (Serial: 2115)
- ∞ Estación Santiago de Trujillo (Serial: 2185)

Estas estaciones son influyentes sobre el área de estudio, como también lo son sobre la cuenca del río Castán según el M.P.P.A. (2011), cuenca a la que pertenece la finca “Las Calderas”. La información original de dichas estaciones se encuentra en el Apéndice A (A.1, A.2, A.3, A.4 y A.5).

La ubicación espacial de cada estación con respecto al área de estudio se muestra en la siguiente figura:



**Figura 4.3:** *Ubicación espacial de estaciones pluviométricas.*

#### **4.3.2 Análisis de consistencia**

Chereque (1989) y Lobo y otros (2006) coinciden en que el primer paso para la evaluación espacial de la precipitación es verificar que las observaciones son consistentes o confiables, es decir, que las estaciones hayan permanecido durante el período de observaciones en las mismas condiciones sin cambiar el instrumental, o que las condiciones del predio no se hayan alterado significativamente.

Para esta verificación se realiza un análisis de consistencia de datos, empleando el análisis doblemente acumulativo o curva de doble masa (Duque, 1993), o bien sea, método de doble acumulada (Lobo y otros, 2006) o curva doble másica (Chereque, 1989). Estos métodos son iguales en sí, pero se encuentra en la literatura específica con diferentes nombres. Según Trezza (1997) el método consiste en comparar los datos anuales de la estación bajo estudio, con aquellos de otra estación o grupo de estaciones que se toman como referencia. Para ello se hace un gráfico, llevando sobre el eje de las ordenadas los

valores acumulados de la estación en estudio y sobre el eje de las abscisas los valores acumulados de la o las estaciones de referencia. Si al hacer esto se observa que los datos se alinean en línea recta, se dice que los datos son consistentes, caso contrario (se produce un cambio de pendiente en la recta), se dice que hay una inconsistencia en los datos.

Chereque (1989) recomienda realizar un *relleno provisional* aproximado de datos faltantes, esto en caso que haya vacíos en la información de las estaciones. Luego que se haya realizado el análisis de consistencia, el segundo paso es realizar una *estimación de datos faltantes más preciso*.

Para llevar a cabo este análisis, se tomó un período de registro suficientemente largo (44 años) desde 1968 hasta la actualidad de las estaciones vecinas o de referencia. La información original recabada en relación al período considerado de dichas estaciones se presentó de la siguiente manera:

- ∞ La estación del páramo La Cristalina (2167) presentó 16 años con datos anuales faltantes.
- ∞ Las estaciones San Lázaro (2115) y Santiago de Trujillo (2185) presentaron 1 año cada una sin registros (año 2000 para ambas).
- ∞ La estación Trujillo-Liceo (2156) presentó 8 años con datos de precipitaciones anuales vacíos.
- ∞ La estación del páramo de Ortiz (7155) presentó 9 años sin datos de 21 años de registros totales, ya que esta se fundó en 1991. Esta estación no aporta la información confiable ya que tiene muchos datos faltantes en relación a los años totales de registro, es por ello, que no se tuvo en cuenta para los análisis pluviométricos posteriores.

Por la existencia de vacíos en la información de estas estaciones pluviométricas, fue necesario realizar una *estimación provisional* de datos faltantes, siguiendo las recomendaciones de Chereque (1989). Ésta estimación se realizó en el siguiente orden:

1. Estimación para las estaciones San Lázaro (2115) y Santiago de Trujillo (2185):  
Como se dijo anteriormente, estas estaciones presentaron, para el año 2000, vacío en el dato de precipitación anual, al igual que el resto de las estaciones pluviométricas en estudio, por lo que no se pudo aplicar ningún método existente en las bibliografías citadas ya que éstos relacionan dos o más estaciones para resolver dicho problema.

Se recurrió estimar los datos anuales de precipitación para el año 2000 por medio de un método gráfico, llevando sobre el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación en estudio y sobre el eje de las abscisas cada año para cada valor acumulado.

Utilizando el programa Microsoft Excel se trazó la línea de tendencia una vez proyectados la nube de puntos, consiguiendo de esta forma una ecuación para dicha recta, ecuación utilizada para calcular el valor de precipitación del año faltante.

El gráfico generado se muestra en el Apéndice A.6.

2. Estimación para las estación del páramo La Cristalina:

Ésta se realizó por el método del promedio aritmético, que como lo indica Trezza (1997), consiste en calcular el promedio de los valores de precipitación registrados en las estaciones tomadas como referencia para el mismo período, a través de la siguiente ecuación:

$$P_X = \frac{P_A + P_B + P_C}{3} \quad (4.1)$$

Donde:

$P_X$ : Dato faltante en la estación X  
 $P_A, P_B$  y  $P_C$ : Registro de precipitación en las estaciones A, B y C para el mismo período

Para la estimación de los años 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1994 y 2006 se tomaron como estaciones de referencia las estaciones de San Lázaro, Trujillo-liceo y Santiago de Trujillo.

Para la estimación de los años 1998 al 2003 se tomó como estaciones de referencia las estaciones San Lázaro y Santiago de Trujillo. La estación Trujillo-liceo no fue tomada en cuenta, ya que esta también presentó vacíos para esos mismos años.

### 3. Estimación para las estación de Trujillo-Liceo:

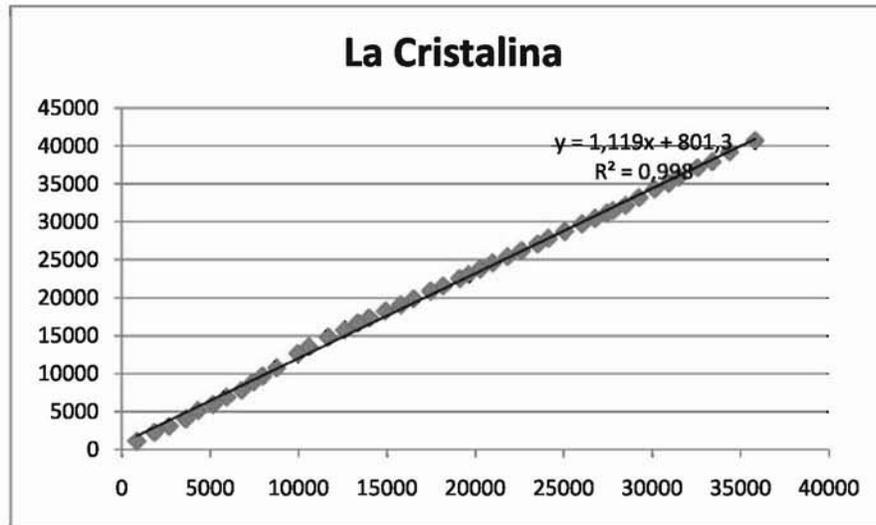
Para la estimación de los años 1997 al 2003; y 2007 se tomaron como estaciones de referencia las estaciones San Lázaro, Santiago de Trujillo y La Cristalina. El método utilizado fue el promedio aritmético aplicado también en la estimación de datos para la estación del páramo La Cristalina (Ecuación 4.1).

Los datos anuales de precipitación estimados para generar el gráfico de doble masa se muestran en el Apéndice A.7.

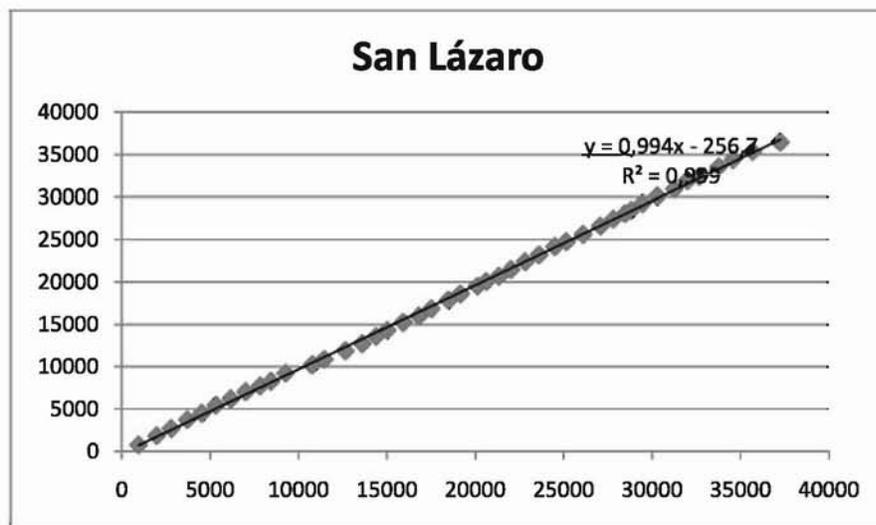
Una vez realizado el relleno de datos en la información de las estaciones pluviométricas, se procedió a ordenar los valores acumulados por año para cada estación. Éste se muestra en el Apéndice A.8.

Se procedió a realizar el análisis de consistencia para observar el comportamiento a lo largo de 44 años de registro de las 4 estaciones. Para ello se graficó la curva de doble masa para cada estación, llevando sobre el eje de las ordenadas los valores acumulados de la estación dudosa o problema, y sobre el eje de las abscisas los valores acumulados de las estaciones de referencia.

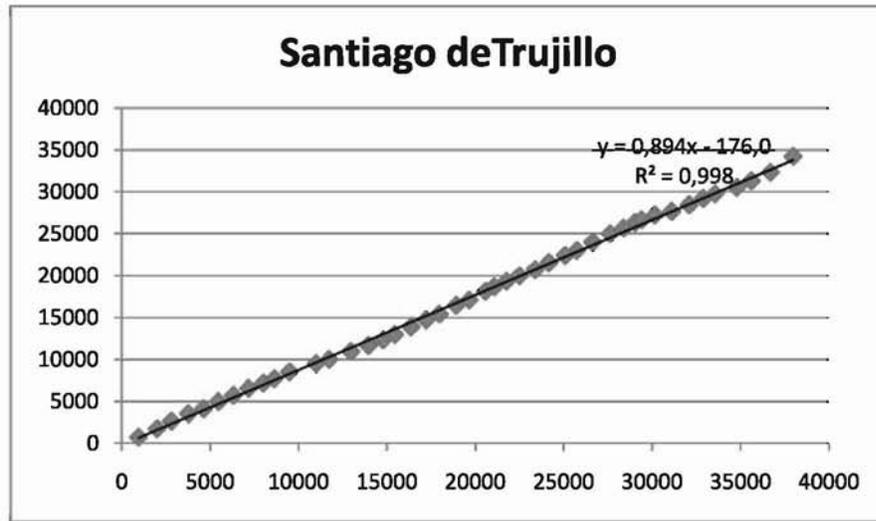
La primera gráfica de doble masa se realizó usando la estación del páramo La Cristalina como estación dudosa o problema, y como estaciones de referencia: San Lázaro, Santiago de Trujillo y Trujillo-liceo.



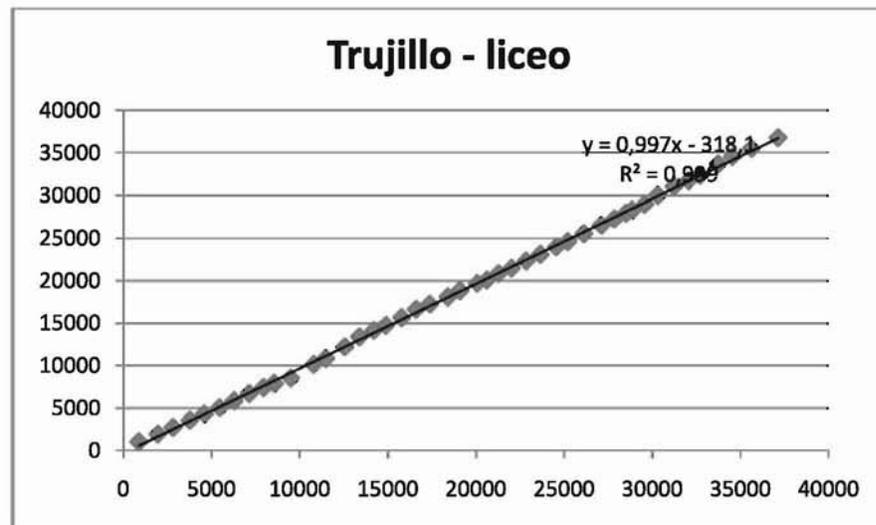
**Figura 4.4:** Curva doble masa. Estación dudosa: La Cristalina.



**Figura 4.5:** Curva doble masa. Estación dudosa: San Lázaro.



**Figura 4.6:** Curva doble masa. Estación dudosa: Santiago de Trujillo.



**Figura 4.7:** Curva doble masa. Estación dudosa: Trujillo - liceo.

Se agregó una recta de tendencia lineal ya que en términos matemáticos, como lo explican Lobo y otros (2006), la relación entre ambas variables debería estructurarse en una sola recta, al no existir error.

La UNESCO citado por Lobo y otros (2006) indica que es importante destacar que este método debe ser utilizado con cautela en zonas montañosas, como es el caso del presente estudio, debido a la gran influencia que ejerce el factor orográfico. Sin embargo,

se observa con satisfacción que la línea de tendencia, para cada estación analizada, indicó una relación lineal entre ambas variables.

#### 4.3.3 Estimación de datos mensuales para estaciones

Estos datos son necesarios para generar el mapa de Isoyetas y así determinar la precipitación media en el área de estudio.

##### Estaciones San Lázaro y Santiago de Trujillo.

Éstas presentaron el mes de diciembre del año 2000 sin registro, por lo que se usó el método que presenta Duque (1993) para estimar valores faltantes de precipitación con base en información de la misma estación, basándose en lo siguiente:

$$\frac{\text{Precipitación durante el mes } i \text{ del año en estudio}}{\text{Promedio de precipitación durante el mes } i \text{ para todos los años de registro}} = \frac{\text{Suma de todas las precipitaciones del año en estudio}}{\text{Promedio anual de precipitación para todos los años de registro}}$$

De acuerdo con ésta relación, la Ecuación 4.2 permite la estimación de datos faltantes:

$$\frac{X_i}{N_i} = \frac{\sum X_i + \sum X_j}{N_a} \quad (4.2)$$

Donde:

- i Denominación de los meses o períodos de datos faltantes,  $i= 1,2 \dots, n$ .
- $N_i$  Promedio de precipitación mensual a lo largo del período de registro para el mes  $i$ .
- $X_i$  Dato faltante para el mes  $i$ .
- $X_j$  Datos de precipitación conocidos en el año donde se encuentra el dato faltante  $X_i$ .
- $N_a$  Precipitación normal o anual, promedio de los totales anuales.

Este método se aplicó para calcular hasta cuatro datos faltantes para un mismo año, ya que si se supera ésta cifra el error de cálculo es significativo.

### Estación Trujillo-liceo.

Para ésta estimación se decidió utilizar como estaciones de referencia las estaciones San Lázaro y Santiago de Trujillo, ya que presentan datos consistentes, es decir, tienen un registro casi perfecto en cuanto a consistencia. La estación del páramo La Cristalina se descartó para esta estimación, ya que presenta mucha inconsistencia en sus datos, es decir, espacios vacíos en los meses que se necesitan para estimar los datos faltantes mensuales de la estación Trujillo-Liceo. Esta presentó datos mensuales faltantes en los años 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003.

Para ello se aplicó el método de los cocientes normales (Lobo y otros, 2006), o también conocido como proporción normal (Trezza, 1997) utilizando la Ecuación 4.3:

$$P_x = \frac{N_x}{3} \left[ \left( \frac{P_A}{N_A} \right) + \left( \frac{P_B}{N_B} \right) + \left( \frac{P_C}{N_C} \right) \right] \quad (4.3)$$

Donde:

$N_A, N_B, N_C, N_x$ : valor normal o promedio de las precipitaciones anuales registradas en A, B, C, y X durante un período común suficientemente largo (20-30 años).

$P_A, P_B, P_C$ : precipitaciones en las estaciones A, B y C durante el período que falta en X.

Según Lobo y otros (2006) cuando se quiere estimar datos faltantes en zonas montañosas es muy probable que las precipitaciones en estaciones vecinas difieran en más del 10%, por lo cual la precipitación en la estación problema se obtiene dándole diferente peso a cada estación usando éste método.

Los datos faltantes para los años 1998 y 2007 de la estación Trujillo-liceo se hallaron por el método sugerido por Duque (1993) aplicando la ecuación 4.2.

### Estación del páramo La Cristalina.

Para ésta estimación se tomaron como referencia, las estaciones Trujillo-liceo, San Lázaro y Santiago de Trujillo. Ésta se realizó por el método de los cocientes normales, a través de la ecuación 4.3.

En el Apéndice A.9 se muestran los datos estimados de precipitación para las cuatro estaciones en estudio.

#### 4.3.4 Obtención de precipitación media en la zona a través de Isoyetas

Se siguió la siguiente metodología propuesta por Trezza (1997) para lograr los mapas de Isoyetas:

1. Se ubicaron las estaciones influyentes sobre el área de estudio.
2. En el plano, se colocaron al lado de cada estación, el valor de precipitación registrado.
3. Se interpoló entre cada dos estaciones para conseguir valores enteros de lluvia, según el intervalo entre curvas preestablecido.
4. Se unen los puntos donde se ubican los valores enteros, luego se definieron las Isoyetas.
5. Una vez trazadas las Isoyetas, se calcularon las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplicó por el promedio de precipitación del área correspondiente.

La precipitación media resultó de sumar todos los productos anteriores y dividirlos por el área total, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{\sum(P_p * A_i)}{A} \quad (4.4)$$

Donde:

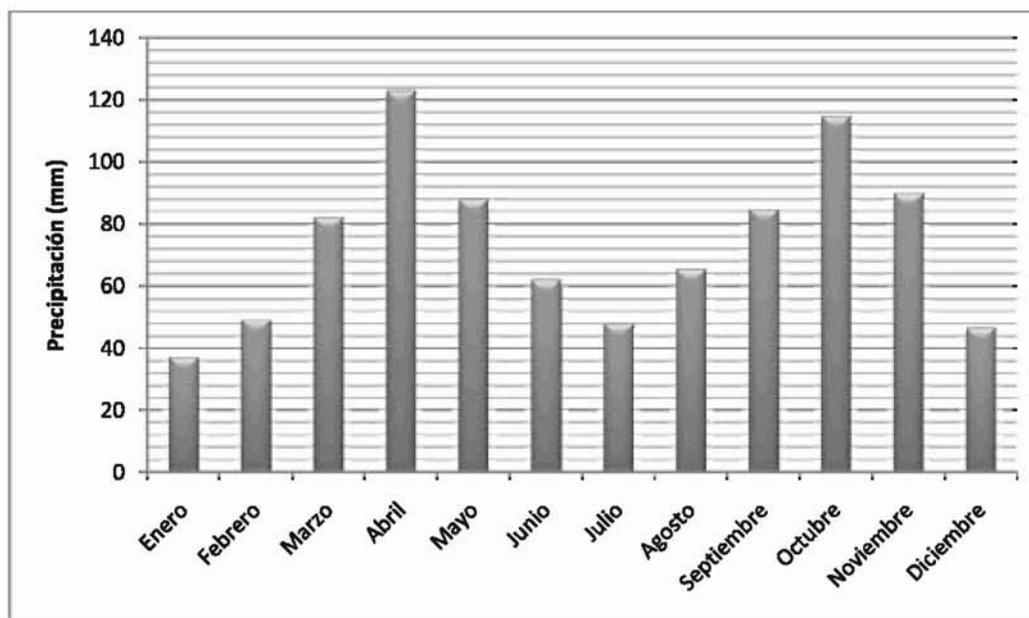
P<sub>m</sub>: Precipitación promedio entre cada par de Isoyetas consecutivas.

A<sub>i</sub>: Área entre Isoyetas.

La precipitación media (mm) mensual para el área de estudio hallada por el método de las Isoyetas se muestra en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1:** *Precipitación (Ppt) media mensual en la finca “Las Calderas”.*

| Mes             | Ene. | Feb.  | Mar. | Abr.  | May.  | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct.   | Nov.  | Dic.  | Anual         |
|-----------------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|---------------|
| <b>Ppt (mm)</b> | 37,1 | 49,25 | 82   | 122,9 | 87,75 | 61,8 | 47,8 | 65,3 | 84,6 | 114,65 | 89,75 | 46,52 | <b>889,42</b> |



**Figura 4.8:** *Precipitación media mensual en la finca “Las Calderas”.*

Los mapas de Isoyetas generados del área de estudio se muestran en el Apéndice A.10.

#### 4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. De los resultados de los planos topográficos y de red de drenaje realizados con el programa de diseño asistido por computadora Autodesk AutoCAD 2007, se observó que por la finca “Las Calderas” drena una serie de corrientes de agua superficiales, potencialmente aprovechables.
2. Se observó, igualmente, que alrededor de la finca en estudio existen varios tributarios, que por conocimiento histórico de los habitantes de la zona; son permanentes.
3. Al realizar el análisis de consistencia, y de estimación de datos faltantes anuales y mensuales para las estaciones estudiadas, se notó que la precisión de los métodos estadísticos varía de acuerdo a la consistencia de registros de las estaciones pluviométricas; siendo mayor la precisión al tener mayor cantidad de información base.
4. Luego de graficar la curva de doble masa para cada estación pluviométrica estudiada, todas reflejaron ser consistentes, por lo que se deduce que existe confiabilidad en sus datos.
5. El método de las Isoyetas para determinar la precipitación media en la zona en estudio, resultó ser una herramienta laboriosa pero que refleja resultados confiables.
6. La precipitación media mensual en la finca “Las Calderas” presenta dos picos de lluvia, teniendo uno en Abril con 122,9 mm aproximadamente, y otro en Octubre con 114,65 mm aproximadamente, siendo los meses de Enero y Diciembre los más secos con aproximadamente 37,1 mm y 46,52 mm respectivamente. Este régimen es llamado régimen de lluvias bimodal.