



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESTUDIO DE VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE CULTIVOS EN TERRAZAS DE EDIFICIOS URBANOS,
COMO ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN A LOS EFECTOS DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA CIUDAD DE QUITO

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos
para obtener el título de Ingeniero Ambiental con mención en Prevención y
Remediación

Profesor Guía
Ing. Mónica Delgado

Autor
Cristian Omar Paliz Acosta

Año
2014

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

.....

Ing. Mónica Delgado
Ingeniero Civil, MBA
C.I. -1713582557

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

.....

Cristian Paliz
C.I. 171981661-1

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, al Municipio Metropolitano de Quito, a la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. A cada una de las personas que gentilmente aportaron con información, conocimiento y aliento.

A la Ing. Mónica Delgado por la confianza y el valioso aporte de sus conocimientos a la elaboración del presente trabajo. A todos mis profesores que entrañablemente recordaré con aprecio.

DEDICATORIA

Dedicado a los habitantes de la ciudad de Quito que comparten al igual que yo este territorio, y que anhelan vivir en un entorno sano, seguro y sostenible.

A Cristina, mi madre, digna mujer que ha doblegado la realidad con perseverancia y amor.

A mis hermanos, a mi padre y a mi abuela, por su aliento, soporte y comprensión.

A mi Sol oscuro que me muestra cada día que la vida no tiene por qué ser simple.

RESUMEN

Plantear la agricultura urbana en las condiciones modernas de la ciudad de Quito, requiere de un estudio hidrometeorológico y su mapeo, así como de una estrategia de adaptación a los efectos del cambio climático. Este estudio propone que a través del análisis de las variables hidrometeorológicas (HM), de la calidad y la cantidad de agua que se precipita en la ciudad, el tipo de sustrato, las especies vegetales adecuadas, el riego, de un sistema de cultivo tipo; se pueda generar una propuesta de implementación de esta actividad considerando los efectos del cambio climático sobre la ciudad.

Para desarrollar el análisis de las variables HM se utilizaron los datos obtenidos de la red de estaciones meteorológicas. La calidad de agua fue estudiada en base a un muestreo puntual simple y a los resultados que posee la universidad. Los sustratos empleados fueron seleccionados de acuerdo a la oferta local, y el tipo de suelo utilizado fue el que se encuentra a lo largo de la ciudad. Las especies seleccionadas responden a las características de crecimiento en base a la precipitación, temperatura y profundidad de enraizamiento.

Se realizó un diseño experimental el cual verificó el porcentaje de crecimiento de las plantas seleccionadas en cada uno de los sustratos, en tres puntos de la ciudad.

La propuesta determina que las condiciones óptimas para la implementación de cultivos en terrazas se encuentran desde la zona norcentral hacia el sur de la ciudad; que la precipitación y temperatura en la ciudad tienden a aumentar, por lo tanto favorecería a la expansión de las fronteras de cultivo dentro de la ciudad. Se determinó que las hortalizas pequeñas son aptas para el cultivo en terraza. La cantidad de agua que precipita podría suplir las necesidades hídricas de los cultivos, sin embargo se estimó un volumen extra que debe ser considerado por cuanto las condiciones meteorológicas no son estables. La calidad de agua lluvia en ciertos puntos de la ciudad es acida y existe plomo que sobrepasa la norma. El

sustrato que mejores resultados otorgó se basa en una mezcla equitativa entre material orgánico, suelo y material inerte.

ABSTRACT

Propose urban agriculture in modern conditions for Quito requires a hydro-meteorological (HM) analyze and it mapping, and make a strategy to adaptation to climate change. This work aims to show that the study of: HM variables, quality and quantity of rainwater fall on the city, the kind of substrate, the irrigation, and the crop system; it permits develop a strategy to implement urban crops considering effects of climate change.

The analysis of HM variables was developed by using the records of stations of local meteorological network. The quality of water rain was studied according to the punctual simple sample and the results of samples that UDLA owns. The substrates were chosen on the basis of local market, and the soil used is the most common of Quito. The selected plant species have different responds to growth due to the conditions of precipitation, temperature, and rooting depth.

An experimental design which checked the growth rate of the plants selected in each of the substrates, at three points in the city was conducted.

The research determined that the optimal conditions for the implementation of urban crops in terraces are from north-central zone to south zone of the city, that precipitation and temperature in the city tend to increase, therefore it would favor to expansion of the boundaries cultivations within the city. It was determined that small vegetables are suitable for cultivation in terraces. The amount of water that precipitates could meet the water needs of crops, however extra volume that should be considered because the weather is not stable at all the time. The quality of rainwater in certain points in the city is acid and the presence of lead exceeding standards. The substrate which gave best results was based on a mixture of organic material fair ground and inert material.

INDICE DE CONTENIDO

Introducción.....	1
OBJETIVOS.....	2
General.....	2
Específicos.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
ALCANCE.....	4
1. Capítulo I. Marco teórico.....	5
1.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CONTEXTO CIUDAD Y AGRICULTURA.....	5
1.1.1. Factores de la ciudad que influyen en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).....	6
1.1.2. Impactos del cambio climático.....	7
1.1.3. Alimentación, agricultura y recursos naturales.....	10
1.1.4. La ciudad de Quito y su relación frente al cambio climático.....	12
1.1.5. Evidencias del cambio climático en la ciudad de Quito y sus estrategias de acción.	13
1.1.6. Plan de acción climático de Quito.....	17
1.2. AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA.....	21
1.2.1. Concepto.....	21
1.2.2. Conexión con el ecosistema urbano.....	23
1.2.3. Recursos naturales y tecnología para cultivos urbanos.....	24
1.2.4. Acciones de la población quiteña en torno a la agricultura urbana.....	26
1.3. CONCEPTOS METEOROLÓGICOS EMPLEADOS.....	26
1.3.1. Estaciones Meteorológicas.....	26
1.3.2. Procesamiento de datos meteorológicos.....	29
1.3.3. Relleno estadístico de los datos o registros.....	29
1.3.4. Homogenización de las series de datos.....	32
1.3.5. Mapas meteorológicos.....	39

1.4. VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS QUE INFLUYEN EN UN CULTIVO	43
1.4.1. Precipitación	43
1.4.2. Temperatura	43
1.4.3. Humedad relativa	43
1.4.4. Heliofanía y radiación solar	43
1.4.5. Velocidad y Dirección del Viento	44
1.4.6. Evapotranspiración.....	44
1.5. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO.....	53
1.5.1. Precipitación (P) y evapotranspiración de referencia (ET)	53
1.5.2. Reserva del suelo (R).....	54
1.5.3. Variación de la reserva (VR) (mm).....	55
1.5.4. Evapotranspiración real (ETR) (mm)	55
1.5.5. Falta de agua (F) (mm)	55
1.5.6. Exceso de agua (Ex) (mm).....	55
1.6. CALIDAD DEL AGUA LLUVIA	56
1.6.1. Contaminación de aguas lluvia	56
1.6.2. Lavado Atmosférico.....	57
1.6.3. Calidad del agua para riego	58
1.6.4. Niveles guía de la calidad de agua para riego	60
1.6.5. Parámetros presentes en el agua potable de la ciudad.....	63
1.7. SUELO Y SUSTRATO	63
1.7.1. Suelo	63
1.7.2. Sustrato	66
1.7.3. Preparación de sustrato	68
1.8. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	73
1.8.1. Diseño de bloques completamente al azar	73
1.8.2. Factores de bloque.....	73
1.8.3. Modelo estadístico	74
1.8.4. Hipótesis.....	74
1.8.5. Análisis de la varianza.....	74

2. Capítulo II. Estudio de las variables hidrometeorológicas, disponibilidad y calidad de agua lluvia, sustratos y selección de plantas	77
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	77
2.1.1. Área de influencia.....	78
2.2. ESTRUCTURA DE DATOS CONSIDERADA	79
2.2.1. Precipitación promedio.....	79
2.2.2. Temperatura media	82
2.2.3. Temperatura máxima	83
2.2.4. Temperatura mínima.....	85
2.2.5. Heliofanía y radiación solar.....	87
2.2.6. Velocidad y dirección del viento.....	88
2.2.7. Evapotranspiración.....	90
2.2.8. Balance hídrico.....	91
2.2.9. Calidad de agua lluvia.....	92
2.2.10. Suelo y sustrato.....	93
2.3. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES HIDROCLIMÁTICAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	95
2.3.1. Precipitación.....	95
2.3.2. Temperatura Media.....	117
2.3.3. Temperatura Máxima	136
2.3.4. Temperatura Mínima.....	152
2.3.5. Heliofanía y radiación solar.....	168
2.3.6. Velocidad y dirección del viento.....	175
2.3.7. Evapotranspiración de referencia	189
2.4. CANTIDAD DE AGUA - BALANCE HÍDRICO.	201
2.4.1. Meses secos y húmedos.....	202
2.4.2. Reserva	215
2.4.3. Evapotranspiración real.....	227
2.4.4. Falta.....	239
2.4.5. Exceso.....	251

2.5. CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO EN LA CIUDAD DE QUITO	261
2.5.1. Muestreo.....	261
2.5.2. Parámetros de medición	261
2.5.3. Protocolo de recolección.....	261
2.5.4. Parámetros de medición y resultados	264
2.5.5. Análisis de los parámetros	265
2.6. PREPARACIÓN DE LOS SUSTRATOS	274
2.6.1. Suelo	274
2.6.2. Sustratos	275
2.7. SELECCIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES.....	279
3. Capítulo III. Diseño del experimento y del cultivo.	281
3.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	281
3.1.1. Unidad Experimental.....	281
3.1.2. Tratamientos	281
3.1.3. Bloques.....	281
3.1.4. Factor de interés	282
3.1.5. Variable de respuesta	282
3.1.6. Hipótesis.....	282
3.1.7. Diseño de bloque completamente aleatorio.....	282
3.1.8. Calculo de ANOVA.....	282
3.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CULTIVO	284
3.2.1. Materiales.....	284
3.2.2. Características para el manejo	286
3.2.3. Disposición del cultivo en las terrazas de los edificios	287
3.3. SÍNTESIS DEL EXPERIMENTO DE CULTIVO EN TERRAZA.....	289
3.3.1. Variables hidrometeorológicas pronosticadas para los meses de noviembre y diciembre	289
3.3.2. Variables hidrometeorológicas reales para los meses de noviembre y diciembre	290
3.3.3. Riego a partir de la variación de las condiciones hidrometeorológicas.	292
3.3.4. Porcentaje de crecimiento de las especies vegetales	297
3.3.5. Oportunidades y limitantes	298

4. Capítulo IV. Estrategia y análisis económico y financiero de la propuesta	299
4.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN DEL PROYECTO AL CAMBIO CLIMÁTICO. 299	
4.2. COSTOS DEL PROYECTO	315
4.3. FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO.....	318
5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	327
5.1. CONCLUSIONES	327
5.2. RECOMENDACIONES.....	329
6. Referencias	331
7. Anexos.....	341
7.1. NUMERO DE DÍA EN EL AÑO J	341
7.2. ESPECIES VEGETALES QUE SE DEBEN CONSIDERAR PARA CULTIVOS URBANOS (HORTALIZAS PEQUEÑAS).	343
7.3. DATOS METEOROLÓGICOS EMPLEADOS	345
7.4. REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LOS CULTIVOS.....	355
7.4.1. Unidad experimental - Cotocollao (Centro de Desarrollo Comunitario).....	355
7.4.2. Unidad experimental - Belisario (Colegio San Gabriel)	363
7.4.3. Unidad experimental - El Camal (Patronato)	369

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales impactos del cambio climático en las ciudades.....	7
Tabla 2. Estrategias de Quito para enfrentar el cambio climático.	14
Tabla 3. Recolección de aguas lluvias en techos.....	24
Tabla 4. Sistema de riego eficiente y sustratos aplicado a cultivos urbanos.....	25
Tabla 5. Instrumentos de medición y variables de medida en estaciones meteorológicas.....	27
Tabla 6. Clasificación de las estaciones meteorológicas.	28
Tabla 7. Valor de la variante estándar z_p para diferentes probabilidades p de no excedencia.	36
Tabla 8. Clasificación de las isolíneas a partir de las sub-disciplinas geográficas que las emplean.....	41
Tabla 9. Criterios de calidad admisible para aguas de uso agrícola	59
Tabla 10. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad de agua de riego. Adaptado de: (Ayers & Westcot, 1987).	60
Tabla 11. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego (Adaptado de (Ayers & Westcot, 1987)).	61
Tabla 12. Clasificación de los suelos que se encuentran en la ciudad de Quito. .	65
Tabla 13. Propiedades físicas y químicas de varios sustratos.	68
Tabla 14. ANOVA para un diseño en bloques completos al azar.....	76
Tabla 15. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la precipitación promedio.	80
Tabla 16. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la precipitación promedio.	82
Tabla 17. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la temperatura máxima absoluta y promedio.....	84
Tabla 18. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la temperatura mínima absoluta y promedio.	86
Tabla 19. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la heliofanía y radiación solar.	87

Tabla 20. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la velocidad y dirección del viento.....	89
Tabla 21. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar el comportamiento de la evapotranspiración.....	90
Tabla 22. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar el comportamiento del balance hídrico dentro de la ciudad.	92
Tabla 23. Lugares de la toma de muestras de agua lluvia.	92
Tabla 24. Lugares de la ciudad donde se obtuvo el suelo.	93
Tabla 25. Precipitación promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.	116
Tabla 26. Temperatura promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.	135
Tabla 27. Temperatura máxima promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.	151
Tabla 28. Temperatura mínima promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas	167
Tabla 29. Dirección del viento y su relación entre punto cardinal y rango en grados sexagesimal.	176
Tabla 30. Parámetros analizados de la muestra puntual simple de agua (A1). ...	264
Tabla 31. Parámetros analizados en la muestra (A1) contrastados con el TULAS (Uso agrícola).	266
Tabla 32. Parámetros analizados en las muestras (H1, H2 y H3), contrastados con el TULAS (Uso agrícola).	266
Tabla 33. Parámetros analizados del agua potable contrastados con el TULAS (Uso agrícola).	267
Tabla 34. Resultados de la conversión de mg a cmol (Agua lluvia).	268
Tabla 35. Calidad del agua lluvia comparada con los parámetros de calidad de agua de riego.	269
Tabla 36. Criterios para evaluar la calidad de agua de riego (Adaptación hecha por Ayers y Wescott)	270

Tabla 37. Composición de los sustratos.....	276
Tabla 38. Características de las especies vegetales seleccionadas.	280
Tabla 39. Diseño de bloque aleatorio.....	282
Tabla 40. Tabla de cálculos para complementar la tabla ANOVA.....	282
Tabla 41. Tabla ANOVA del experimento realizado.	283
Tabla 42. Valores esperados de las variables hidrometeorológicas para el mes de noviembre.....	290
Tabla 43. Valores esperados de las variables hidrometeorológicas para el mes de diciembre.....	290
Tabla 44. Valores reales de las variables hidrometeorológicas para el mes de noviembre/2013.....	291
Tabla 45. Valores reales de las variables hidrometeorológicas para el mes de diciembre/2013.....	292
Tabla 46. Cobertura real del agua lluvia durante los meses de noviembre y diciembre (2013) frente a sus pronósticos.....	292
Tabla 47. Cantidad de agua utilizada en el riego de los cultivos.	293
Tabla 48. Riego estimado de agua potable para los cultivos, considerando su ubicación dentro de Quito.....	294
Tabla 49. Evapotranspiración de referencia y precipitación supuesta para los meses de noviembre y diciembre del 2013.	295
Tabla 50. Evapotranspiración de referencia y precipitación presente para los meses durante el experimento (noviembre y diciembre del 2013).	295
Tabla 51. Evapotranspiración real de cultivos en terrazas usando el diseño de cultivo propuesto.	296
Tabla 52. Porcentajes de crecimiento promedio para las especies vegetales plantadas en cada tipo de sustrato.....	297
Tabla 53. Superficie de las zonas de la ciudad.	304
Tabla 54. Zonificación de la ciudad en base a las isoyetas.....	305
Tabla 55. Superficie de la zonificación en base a las isoyetas.....	305
Tabla 56. Estimación del volumen total de precipitación por zona de la ciudad..	306

Tabla 57. Superficie hábil para cultivar en terrazas y unidades de cultivo.	307
Tabla 58. Volumen de agua estimado que potencialmente puede ser usado en los cultivos.	308
Tabla 59. Cantidad de agua estimada y cantidad de cobertura de agua que puede presentarse.	309
Tabla 60. Volumen total de agua aproximado que requerirían los cultivos.	310
Tabla 61. Consumo real anual y volumen de agua lluvia estimada y real.	311
Tabla 62. Requerimientos hídricos por zona de precipitación.	311
Tabla 63. Volumen de sustratos requeridos para los cultivos.	312
Tabla 64. Producción estimada de alimentos.	313
Tabla 65. Reducción de huella de carbono, expresado en Kg de CO ₂	314
Tabla 66. Costo de la unidad de cultivo.	315
Tabla 67. Montos de inversión requeridos.	315
Tabla 68. Ingreso estimado a partir de la cantidad de alimentos que se producirían.	316
Tabla 69. Datos generales para análisis económico.	318
Tabla 70. Flujo de caja del proyecto (parte 1)	319
Tabla 71. Flujo de caja del proyecto (parte 2)	320
Tabla 72. Cálculo de depreciaciones y amortización de pre operativos (parte 1)	321
Tabla 73. Cálculo de depreciaciones y amortización de pre operativos (parte 2)	321
Tabla 74. Cálculo de valores de liquidación.	322
Tabla 75. Plan de financiamiento (parte 1)	322
Tabla 76. Plan de financiamiento (parte 2)	323
Tabla 77. Plan de financiamiento (parte 3)	323
Tabla 78. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 1)	323
Tabla 79. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 2)	324
Tabla 80. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 3)	324

Tabla 81. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 1)	324
Tabla 82. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 2)	325
Tabla 83. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 3)	325
Tabla 84. Cuadro de análisis de valores VPN.	326

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.Desnutrición mundial en millones de habitantes. Tomado de FAO, 2009, p. 120	11
Figura 2. Evolución tierras de riego y seco, cultivos por persona. Tomado de FAO, 2011a, p. 14	12
Figura 3. Agricultura Urbana: Dimensiones comunes. Tomado de Mougeot, 1999, pág. 5.	22
Figura 4. Agricultura Urbana: Escalas. Fuente: Zaar, 2011.	22
Figura 5. Agricultura Urbana y sus otros elementos. Tomado de Mougeot, 1999, pág. 10.	23
Figura 6. Estaciones meteorológicas. Tomado de:Nimbus Weather Services, 2001	29
Figura 7. Regresión entre dos registros de datos climáticos, asumiendo que el registro X sea homogéneo. El ejemplo muestra que la condición de homocedaticidad está satisfecha. Tomado de (FAO, 2006).....	34
Figura 8. Residuales acumulativos vs. Tiempo y la elipse asociada a la probabilidad $p=80\%$, con los resultados indicando que el registro Y no es homogéneo (en relación al registro X) (FAO, 1998).....	36
Figura 9. Representación de los residuales acumulativos vs tiempo y la elipse asociada para la probabilidad $p=80\%$ después de la corrección de la variable Y (FAO, 1998).....	37
Figura 10. Líneas de regresión para los dos sub-sistemas obtenidos de los registros de las figuras 7 y 8. La selección fue realizada después de la definición del punto de cambio de tendencia en la figura 8 (FAO, 1998).	38
Figura 11. Características de las isólineas. Tomado de: Madrid y Ortiz, 2005.....	40
Figura 12. Principales contaminantes encontrados en la deposición y precipitación atmosférica. Fuente: EPA(2010)	58
Figura 13. Composición promedio del suelo. Tomado delNatural Resources Conservation Service (2006)..	64

Figura 14. Mapa General de Suelos de Quito y sus alrededores. Tomado de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (1986)	66
Figura 15. Sustrato utilizado en cultivo con contenedores. Tomado de (CocoPot, 2013).....	67
Figura 16. Área de estudio. Situación político – administrativa de la ciudad de Quito respecto a su cantón, provincia y país. Adaptado de la información geográfica suministrada por el INEC y el Municipio de Quito, 2013.....	77
Figura 17. Área de influencia del estudio. La zona central (la ciudad), mientras que la zona en marrón es el área indirecta. Adaptado a partir de los datos proporcionados por el Municipio de Quito, 2013.	78
Figura 18. Ubicación espacial de las estaciones empleadas para determinar la precipitación promedio en la ciudad de Quito.....	81
Figura 19. Ubicación espacial de las estaciones empleadas para determinar la precipitación promedio en la ciudad de Quito.....	83
Figura 20. Ubicación espacial de las estaciones empleadas para determinar la temperatura máxima en la ciudad de Quito.....	85
Figura 21. Ubicación espacial de las estaciones empleadas para determinar la temperatura mínima en la ciudad de Quito.....	86
Figura 22. Ubicación de las estaciones empleadas para determinar la heliofanía en la ciudad de Quito.	88
Figura 23. Ubicación de las estaciones empleadas para denotar la velocidad y dirección del viento en la ciudad de Quito.....	89
Figura 24. Ubicación de las estaciones empleadas para determinar la evapotranspiración.	91
Figura 25. Ubicación de los lugares donde se tomaron las muestras de agua lluvia: puntual simple y puntuales compuestas.....	93
Figura 26. Ubicación de los lugares donde se realizó la obtención de las muestras de suelo.....	94
Figura 27. Mapa de isoyetas para el mes de enero. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	96

Figura 28. Mapa de isoyetas para el mes de febrero. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	97
Figura 29. Mapa de isoyetas para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	98
Figura 30. Mapa de isoyetas para el mes de abril. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	99
Figura 31. Mapa de isoyetas para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	100
Figura 32. Mapa de isoyetas para el mes de junio. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	101
Figura 33. Mapa de isoyetas para el mes de julio. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	102
Figura 34. Mapa de isoyetas para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	103
Figura 35. Mapa de isoyetas para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	104
Figura 36. Mapa de isoyetas para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	105
Figura 37. Mapa de isoyetas para el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	106
Figura 38. Mapa de isoyetas para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.....	107
Figura 39. Variación de la precipitación (1962 - 2009). Adaptado: INAMHI	108
Figura 40. Variación de la precipitación (1976 - 2009). Adaptado: INAMHI	108
Figura 41. Variación de la precipitación (1958 - 2009). Adaptado: INAMHI	109
Figura 42. Variación de la precipitación (1976 - 2009). Adaptado: INAMHI.	109
Figura 43. Variación de la precipitación (1975 - 2008) en Iñaquito. Adaptado: INAMHI.....	110
Figura 44. Variación de la precipitación (1977 - 2009) en La Chorrera. Adaptado: INAMHI.....	111

Figura 45. Variación de la precipitación (1980 - 2009). Adaptado: INAMHI.	111
Figura 46. Variación de la precipitación (1976 - 2009). Adaptado: INAMHI.	112
Figura 47. Variación de la precipitación (1968 - 2009). Adaptado: INAMHI.	113
Figura 48. Variación de la precipitación (1958 - 2009). Adaptado del INAMHI....	113
Figura 49. Variación de la precipitación (1964 - 2003). Adaptado del INAMHI....	114
Figura 50. Variación de la precipitación (1955 - 2009). Adaptado del INAMHI....	115
Figura 51. Precipitación promedio mensual y su dinámica anual. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ).	116
Figura 52. Mapa de isotermas promedio para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.	118
Figura 53. Mapa de isotermas promedio para el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.	119
Figura 54. Mapa de isotermas promedio para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.	120
Figura 55. Mapa de isotermas promedio para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.	121
Figura 56. Mapa de isotermas promedio para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.	122
Figura 57. Mapa de isotermas promedio para el mes de junio. Adaptado del INAMHI.	123
Figura 58. Mapa de isotermas promedio para el mes de julio. Adaptado del INAMHI.	124
Figura 59. Mapa de isotermas promedio para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI.	125
Figura 60. Mapa de isotermas promedio para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.	126
Figura 61. Mapa de isotermas promedio para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI.	127
Figura 62. Mapa de isotermas promedio para el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI.	128

Figura 63. Mapa de isotermas promedio para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.....	129
Figura 64. Variación de la temperatura media (1980 - 2009). Adaptado del INAMHI.....	130
Figura 65. Variación de la temperatura media (1980 - 2005). Adaptado del INAMHI.....	131
Figura 66. Variación de la temperatura media (1975 - 2008). Adaptado del INAMHI.....	131
Figura 67. Variación de la temperatura media (1961 - 2009). Adaptado del INAMHI.....	132
Figura 68. Variación de la temperatura media (1975 - 2003). Adaptado del INAMHI.....	133
Figura 69. Variación de la temperatura media (1964 - 1994). Adaptado del INAMHI.....	133
Figura 70. Variación de la temperatura media (1960 - 1980). Adaptado del INAMHI.....	134
Figura 71. Patrón de comportamiento anual de la temperatura promedio en las estaciones ubicadas en terrazas. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ).....	135
Figura 72. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de enero en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	137
Figura 73. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de febrero en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	138
Figura 74. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de marzo en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	139
Figura 75. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de abril en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	140
Figura 76. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de mayo en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	141

Figura 77. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de junio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	142
Figura 78. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de julio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	143
Figura 79. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de agosto en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	144
Figura 80. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de septiembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	145
Figura 81. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de octubre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	146
Figura 82. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de noviembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	147
Figura 83. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de diciembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	148
Figura 84. Comportamiento de las temperaturas máximas absolutas anuales (1980 - 2012). Adaptado del INAMHI.	149
Figura 85. Comportamiento de las temperaturas máximas absolutas anuales (1965 - 2009). Adaptado del INAMHI.	150
Figura 86. Comportamiento de las temperaturas máximas absolutas anuales (1975 - 2012) en Iñaquito. Adaptado del INAMHI.....	150
Figura 87. Patrón de comportamiento anual de la temperatura máxima promedio en las estaciones ubicadas en terrazas. Adaptado de la: Secretaria de Ambiente. (REDMAQ).....	152
Figura 88. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de enero en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	153
Figura 89. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de febrero en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	154
Figura 90. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de marzo en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	155

Figura 91. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de abril en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	156
Figura 92. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de mayo en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	157
Figura 93. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de junio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	158
Figura 94. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de julio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	159
Figura 95. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de agosto en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	160
Figura 96. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de septiembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	161
Figura 97. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de octubre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	162
Figura 98. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de noviembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	163
Figura 99. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de diciembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	164
Figura 100. Comportamiento de las temperaturas mínimas absolutas anuales (1980 - 2012). Adaptado del INAMHI.....	165
Figura 101. Comportamiento de las temperaturas mínimas absolutas anuales (1965- 2009). Adaptado del INAMHI.....	165
Figura 102. Comportamiento de las temperaturas mínimas absolutas anuales (1975 - 2009). Adaptado del INAMHI.....	166
Figura 103. Comportamiento anual de la temperatura mínima promedio en terrazas. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ).....	167
Figura 104. Comportamiento de la heliofanía anual en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	170
Figura 105. Comportamiento de la radiación en la ciudad de Quito. Adaptado de la Secretaria Ambiente (REDMAQ).....	173

Figura 106. Tendencia de la heliofanía promedio (1980 - 2008). Adaptado del INAMHI.....	174
Figura 107.Tendencia de la heliofanía promedio (1980 - 2008). Adaptado del INAMHI.....	174
Figura 108. Tendencia de la heliofanía promedio (1980 - 2008). Adaptado del INAMHI.....	175
Figura 109. Rosa de los vientos	176
Figura 111. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de febrero dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	178
Figura 112. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de marzo dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	179
Figura 113. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de abril dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.	180
Figura 114. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de mayo dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	181
Figura 115. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de junio dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	182
Figura 116. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de julio dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.	183
Figura 117. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de agosto dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	184

Figura 118. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de septiembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	185
Figura 119. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de octubre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	186
Figura 120. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de noviembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	187
Figura 121. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de diciembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.....	188
Figura 122. Evapotranspiración referencial para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.....	190
Figura 123. Evapotranspiración referencial para el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.....	191
Figura 124. Evapotranspiración referencial para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.....	192
Figura 125. Evapotranspiración referencial para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.....	193
Figura 126. Evapotranspiración referencial para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.....	194
Figura 127. Evapotranspiración referencial para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.....	195
Figura 128. Evapotranspiración referencial para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.....	196
Figura 129. Evapotranspiración referencial para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI.....	197
Figura 130. Evapotranspiración referencial para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.....	198

Figura 131. Evapotranspiración referencial para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI.....	199
Figura 132. Evapotranspiración referencial para el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI.....	200
Figura 133. Evapotranspiración referencial para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.....	201
Figura 134. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Enero. Adaptado del INAMHI.	203
Figura 135. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Febrero. Adaptado del INAMHI.....	204
Figura 136. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Marzo. Adaptado del INAMHI.	205
Figura 137. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Abril. Adaptado del INAMHI.	206
Figura 138. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Mayo. Adaptado del INAMHI.	207
Figura 139. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Octubre. Adaptado del INAMHI.....	208
Figura 140. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Noviembre. Adaptado del INAMHI.....	209
Figura 141. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Diciembre. Adaptado del INAMHI.....	210
Figura 142. Meses secos en la ciudad de Quito. Junio. Adaptado del INAMHI. .	211
Figura 143. Meses secos en la ciudad de Quito. Julio. Adaptado del INAMHI....	212
Figura 144. Meses secos en la ciudad de Quito. Agosto. Adaptado del INAMHI.	213
Figura 145. Meses secos en la ciudad de Quito. Septiembre. Adaptado del INAMHI.....	214
Figura 146. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.....	216

Figura 147. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.	217
Figura 148. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.....	218
Figura 149. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.	219
Figura 150. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.	220
Figura 151. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de junio. Adaptado del INAMHI.	221
Figura 152. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de julio. Adaptado del INAMHI.	222
Figura 153. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI.	223
Figura 154. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.	224
Figura 155. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI.....	225
Figura 156. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI.	226
Figura 157. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.	227
Figura 158. Evapotranspiración real en el mes de enero para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	228
Figura 159.Evapotranspiración real en el mes de febrero para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	229
Figura 160. Evapotranspiración real en el mes de marzo para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	230
Figura 161.Evapotranspiración real en el mes de abril para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	231

Figura 162. Evapotranspiración real en el mes de mayo para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	232
Figura 163. Evapotranspiración real en el mes de junio para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	233
Figura 164. Evapotranspiración real en el mes de julio para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	234
Figura 165. Evapotranspiración real en el mes de agosto para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	235
Figura 166. Evapotranspiración real en el mes de septiembre para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	236
Figura 167. Evapotranspiración real en el mes de octubre para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.....	237
Figura 168. Evapotranspiración real en el mes de noviembre para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	238
Figura 169. Evapotranspiración real en el mes de diciembre para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.	239
Figura 170. Estimación de la falta de agua para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.....	240
Figura 171. Falta de agua en la ciudad para los meses de febrero. Adaptado del INAMHI.....	241
Figura 172. Falta de agua en la ciudad para los meses de marzo. Adaptado del INAMHI.....	242
Figura 173. Falta de agua en la ciudad para los meses de abril. Adaptado del INAMHI.....	243
Figura 174. Falta de agua en la ciudad para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.....	244
Figura 175. Falta de agua en la ciudad para el mes de junio. Adaptado del INAMHI.....	245
Figura 176. Falta de agua en la ciudad para el mes de julio. Adaptado del INAMHI.	246

Figura 177. Falta de agua en la ciudad para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI.....	247
Figura 178. Falta de agua en la ciudad para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.....	248
Figura 179. Falta de agua en la ciudad para los meses de octubre. Adaptado del INAMHI.....	249
Figura 180 . Falta de agua en la ciudad para los meses de noviembre. Adaptado del INAMHI.....	250
Figura 181. Falta de agua en la ciudad para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.....	251
Figura 182. Exceso de agua que escurre en el mes de enero. Adaptado del INAMHI.....	252
Figura 183.Exceso de agua que escurre en el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.....	253
Figura 184. Exceso de agua que escurre en el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.....	254
Figura 185.Exceso de agua que escurre en el mes de abril. Adaptado del INAMHI.	255
Figura 186.Exceso de agua que escurre en el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.....	256
Figura 187. Exceso de agua que escurre en el mes de junio. Adaptado del INAMHI.....	257
Figura 188.Exceso de agua que escurre en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Adaptado del INAMHI.	258
Figura 189.Exceso de agua que escurre en el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI.....	259
Figura 190.Exceso de agua que escurre en el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.....	260
Figura 191. Recipientes utilizados para la toma de la muestra de agua lluvia. ...	262

Figura 192. Envases empleados para almacenar la muestra de agua lluvia. Fuente: (CESAQ - PUCE, 2013)	263
Figura 193. Formato de etiqueta para identificación de la muestra.....	263
Figura 194. Unidad de cultivo experimental.	285
Figura 195. Unidad de cultivo - vista tipo corte.....	285
Figura 196. Características del cultivo.	286
Figura 197. Unidades experimentales ubicadas dentro de las zonas de influencias de cada régimen de precipitación a analizar. Adaptado del INAMHI, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.	287
Figura 198. Cultivos en Cotocollao.....	288
Figura 199. Cultivos en Belisario.....	288
Figura 200. Cultivos en El Camal.	289
Figura 201. Precipitación promedio anual actual (mm) y la tendencia lineal de los registros. Adaptado del INAMHI.	300
Figura 202. Tendencia de la precipitación - Relación de la precipitación en el tiempo. Adaptado del INAMHI.	301
Figura 203. Proyección de la precipitación para el año 2020. Adaptado del INAMHI.....	302
Figura 204. Proyección de la precipitación para el año 2050. Adaptado del INAMHI.....	303
Figura 205. Zonificación de la ciudad en base a las isoyetas actuales y de los años 2020 y 2050. Adaptado del INAMHI.	304
Figura 206. Superficie y rangos de precipitación promedio anual. Adaptado del INAMHI.....	306

Introducción

Antecedentes

En el pasado la agricultura y por consiguiente la aparición de los emplazamientos urbanos (periodos paleolíticos) se constituyeron como importantes estrategias por las sociedades de aquel entonces para adaptarse y enfrentarse a un determinado medio ambiente. Varias civilizaciones a lo largo de la historia adoptaron las prácticas agrícolas cercanas como medio de subsistencia para su población. Los cultivos urbanos se remontan a miles de años y han estado presentes a manera de jardines y huertos, los cuales siempre han sido parte de las urbes (Chacobo, sf).

A finales del siglo XX los huertos urbanos adquieren mayor importancia debido a que se plantea como una actividad que pretende ofrecer una solución a varios problemas socio- económicos y ambientales, como la seguridad alimentaria, la calidad de los productos, generación de empleo, la calidad de vida, educación ambiental, la regeneración urbana y como una alternativa para reducir la presión a la expansión de la frontera agrícola. Además, es una fuente indispensable de alimentación para personas con bajos recursos económicos y en varias poblaciones muchas veces su práctica es sostenida como un instrumento de protesta para exigir una alimentación y ambiente más saludable (Zaar, 2011).

Actualmente, el mundo se está urbanizando, interconectándose y cambiando, si esta tendencia continua, para el año 2050 la población urbana mundial se estima que llegaría a ser de 6.3 mil millones, esto representa casi el doble de los 3.5 mil millones de ciudadanos que actualmente viven en regiones urbanas del mundo. Más del 60 por ciento de las aéreas que se proyectan a ser urbanizadas todavía tienen que ser construidas, la mayoría de este crecimiento se espera que ocurra en las pequeñas y medianas poblaciones, y no en las grandes ciudades como se pudiese pensar (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012).

La creciente demanda de alimentos en las ciudades, se proyecta como una actividad que también demandará: la expansión de las fronteras agrícolas especialmente en las zonas aledañas a las urbes, dotación de recursos hídricos, fertilizantes y mayor cantidad de energía para su transporte, procesamiento y conservación (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012), y es así, que en la actualidad la agricultura urbana tiene grandes desafíos. La agricultura debe ser analizada y proyectada en base a una estrategia de adaptación a los impactos y a las condiciones ambientales futuras que presentará el cambio climático, con el fin de que pueda ser utilizada como una estrategia válida y viable para la producción de alimentos (FAO, Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca, sf).

Su estudio y análisis debe formar parte de las iniciativas de las comunidades locales, ya que se reconoce que las acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a nivel local, pues son específicos de cada lugar, y pueden ser planteadas de forma integrada con las demás medidas que se adopten (Gobierno de España, 2006).

Objetivos

General

Elaborar un estudio hidroclimatológico y mapeo dirigido a jardines en terrazas como estrategia para adaptación a los efectos del cambio climático en Quito, Ecuador.

Específicos

- Determinar la situación actual de las variables hidrometeorológicas que intervienen en la zona de estudio, la calidad y cantidad de agua presente, el tipo de sustrato, las especies vegetales y el sistema de riego más idóneo.
- Diseñar un sistema de cultivo urbano, para verificar la influencia factores ambientales que intervienen en el desarrollo del cultivo mediante un diseño experimental.

- Implementar el cultivo en tres terrazas piloto.
- Elaborar la propuesta de estrategia de adaptación al cambio climático.

Justificación

Debido a su posición geográfica y a la topografía montañosa, el Ecuador es altamente vulnerable al cambio climático, especialmente en los recursos hídricos y de conservación (Comité Nacional sobre el Clima, 2001). Quito experimenta altos y extremos promedios de temperatura, un descenso en la precipitación total pero un aumento en los extremos eventos torrenciales, lo cual causaría deslizamientos o avalanchas de lodo (Dirección Metropolitana de Ambiente y Fondo Ambiental, 2008).

El Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) en 2009 adoptó, la Estrategia Quiteña al Cambio Climático (EQCC), en el cual se establecieron las políticas que orienten los programas y acciones frente al cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente, 2009).

El cambio climático es una realidad que debe ser considerada a todos los niveles, tanto internacional, nacional y local. Los impactos que se generan y se generarán derivados de este problema, deben ser abordados con un enfoque integral sin que esto suponga dejar de analizar cada una de las actividades que influyen en el aumento del mismo, una de estas actividades es la alimentación humana y la agricultura (Durán & Sánchez, 2012). La creciente demanda de alimentos a nivel mundial; genera mayor presión sobre los recursos naturales, consume ingentes cantidades de energía - muchas de ellas de origen fósil - en la fabricación de fertilizantes, en el transporte, proceso y conservación de los mismos; la falta de estrategias para apoyar a los pequeños agricultores, su vulnerabilidad ante los fenómenos naturales actuales y futuros derivados del actual modelo de producción agrícola en el país, son y serán, entre otros factores, los responsables de la migración rural o campesina hacia las ciudades, lo cual deja al campo sin trabajar

y por lo tanto se pierde en esta población un importante aporte a la seguridad alimentaria de una zona geográfica determinada (Durán & Sánchez, 2012).

Alcance

El trabajo de titulación consta del cálculo de variables hidroclimáticas con datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REDMMAQ). A partir de la determinación de los valores mensuales de precipitación, temperatura, heliofanía, radiación solar, dirección y velocidad del viento se elaborarán mapas que nos permitirá realizar el análisis respectivo para la ubicación de los cultivos en terraza en la ciudad de Quito, así como el análisis de la calidad de agua lluvia como factor determinante para establecer la factibilidad del uso del agua para emplearlo en cultivos comestibles. Por último se realiza un diseño de experimentos y análisis de sustratos y plantas de acuerdo a la oferta local para elaborar una propuesta de adaptación a efectos de cambio climático considerando el sustrato que mejores resultados entregue y la especie de plantas que mejor se adapte.

1. Capítulo I. Marco teórico

En este capítulo se presentará la temática conceptual de tal forma que se puedan relacionar fácilmente los conceptos y teorías utilizadas en cada una de las etapas del estudio, con las actividades de análisis de la información que se posee. Sin embargo, se empezará hablando sobre el cambio climático como un eje transversal que será primordial para la propuesta definitiva y que desde el inicio se desea articularla y entenderla.

1.1. El cambio climático en el contexto ciudad y agricultura

“Cambio climático se entiende por un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) hubo un aumento de 0,74 °C entre 1906 y 2005 debido a la quema de combustibles fósiles, la contaminación a gran escala que generan las industrias, la deforestación, el cambio de uso de suelo, entre otros. Esta acumulación de GEI en la atmósfera y la reducción propia de la capacidad de los ecosistemas para absorber estos gases, incrementan el efecto, además que modifican la dinámica del ciclo del carbono. Esto se manifiesta en el cambio de las temperaturas medias a nivel global. Por lo tanto las poblaciones humanas tienen dos desafíos (UN-Habitat, Earthscan, 2011):

- Adaptarse al cambio climático y,
- Mitigar las actividades humanas que lo producen.

1.1.1. Factores de la ciudad que influyen en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

Se sugiere que las emisiones antropogénicas de GEI procedentes de ciudades podría estimarse en alrededor de 40% y 70% utilizando datos de su producción. Mientras que si se evalúan por su nivel de consumo este oscila alrededor del 60%. La contribución al porcentaje total de emisiones dependen de varios factores (UN-Habitat, Earthscan, 2011):

- Situación geográfica: Clima, altitud, localización en relación a los recursos naturales.
- Situación demográfica: No depende del tamaño de su población sino del modo en que se gestiona cada ciudad y las elecciones que toman sus habitantes como modo de vida.
- Forma urbana y densidad: Barrios altamente poblados ubicados en zonas de riesgo y zonas con bajas densidades con altos ingresos emiten mayor cantidad GEI, ya que requieren mayores recursos energéticos para moverse.
- Economía urbana: las actividades económicas que se generan en zonas urbanas influye en las emisiones de GEI. Todas las zonas necesitan de una gran cantidad de bienes fabricados y de servicios.

1.1.2. Impactos del cambio climático

Las ciudades que no planifiquen su crecimiento en términos de la demanda actual y futura de recursos y el efecto futuro del cambio climático, dejarán que muchas personas y bienes resulten vulnerables, por ejemplo: se pueden presentar episodios en los cuales las ciudades no puedan suministrar los servicios más básicos a sus habitantes.

Tabla 1. Principales impactos del cambio climático en las ciudades.

Impactos	Elementos	Detalles
En Infraestructura Física	Estructuras residenciales y comerciales.	Zonas pobladas que sean vulnerables a las precipitaciones intensas y las consecuencias de estas en zonas de alto riesgo.
	Sistemas de transporte	Debido a las condiciones climáticas estas pueden afectar trayectos e interrupciones del servicio.
	Energía	Cambios en la demanda como en su generación y distribución.
	Suministros de agua	El aumento de las temperaturas y el cambio en los periodos de precipitación, no solo influirán en los caudales, sino también en los sistemas de tratamiento
	Sistemas de saneamiento	Debido a los cambios en el régimen de precipitaciones, los sistemas podrían afectarse gravemente.

Continuación de la tabla 1.

Económicos	Actividades económicas (comercio, fabricación, turismo y aseguradoras).	Derivados de los daños a la infraestructura, construcciones y otros bienes, especialmente cuando estas se encuentren en zonas costeras y llanuras de inundación. Como efectos indirectos tenemos retrasos en las entregas y cancelaciones.
	Servicios eco sistémicos	Perdida y degradación acelerada de producción de oxígeno, almacenamiento de carbono, filtración natural de toxinas y contaminantes, protección de las sociedades costeras ante inundaciones y viento durante las tormentas.
	Modos de vida	Capitales: natural, socio-político, humano, financiero.
Salud Pública	Hospitales, casas de salud, redes sanitarias.	El aumento de las temperaturas, la contaminación de las aguas superficiales, ciclo de transmisión de enfermedades, traerá consigo aumento de muertes de personas.

Continuación de la tabla 1.

<p>Sociales</p>	<p>Minorías marginadas, mujeres y hombres, jóvenes y ancianos pobres.</p>	<p>Los impactos magnifican las diferencias de género y raza, atacan principalmente y con más frecuencia a las minorías y mujeres pobres. El cambio climático se considera un fenómeno distributivo porque afecta de un modo diferente a los individuos y a los grupos según la riqueza y acceso a los recursos.</p>
<p>Desplazamiento y migración forzada</p>	<p>Poblaciones con poca elevación, insulares. Poblaciones seguras que deberán alojar a los desplazados.</p>	<p>En el 2008 se estima que 20 millones de personas fueron desplazadas debido a catástrofes naturales repentinas, para el 2050 se espera que esta cifra llegue a los 200 millones. Generación de conflictos sociales debido al refugio de los desplazados en nuevas zonas.</p>
<p>Identificación de ciudades vulnerables al cambio climático</p>	<p>Urbes - Ciudades.</p>	<p>Se espera que las urbes crezcan especialmente en los países en vías de desarrollo, esto aumenta la vulnerabilidad ya que se necesitan mayores bienes y servicios para satisfacer la demanda de las poblaciones.</p>

Nota: Los impactos que generará el cambio climático dentro de las ciudades se encuentran relacionados, y se lo puede evidenciar en la síntesis descrita la cual fue tomada de UN-Habitat, Earthscan, 2011, p. 31 – 38.

1.1.3. Alimentación, agricultura y recursos naturales

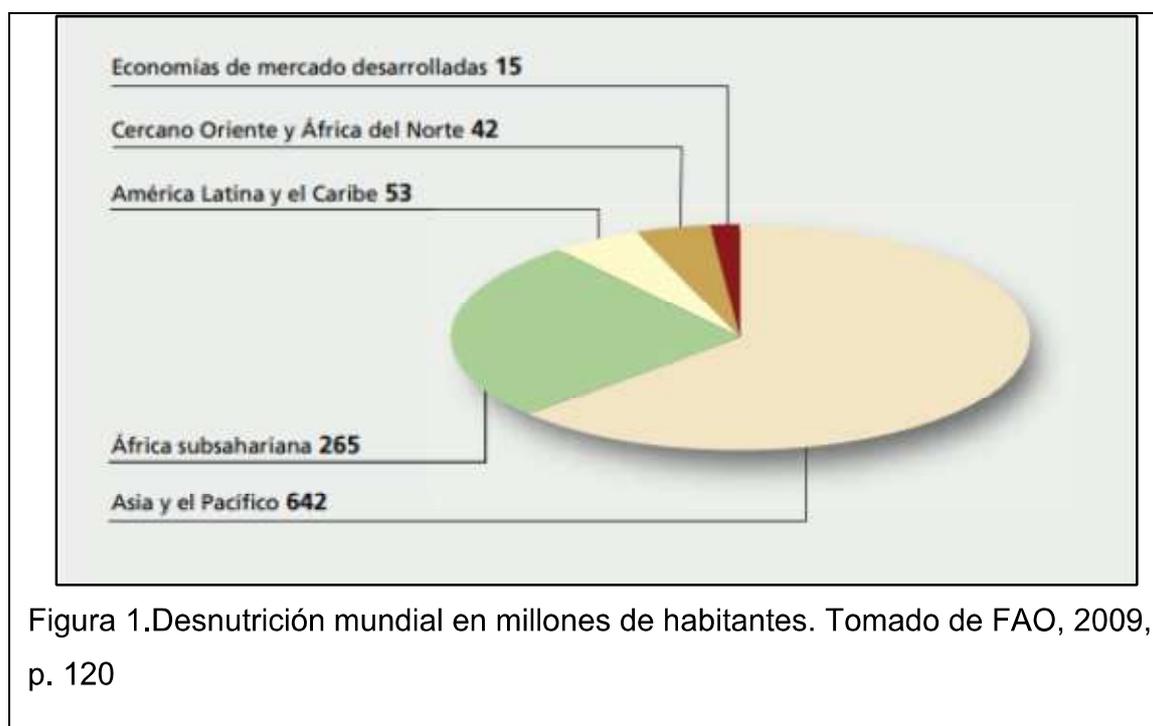
La Guía para la Adaptación al Cambio Climático en Ciudades (World Bank, 2011), manifiesta que la calidad del agua y la cantidad de agua podría reducirse debido a sequías que se presentarán; las zonas que dependen de los glaciares para suplir la demanda de agua serán fuertemente golpeados, especialmente la actividad agrícola ya que su dotación se disminuirá, existe probabilidad de que las zonas de sequía se incrementen en lugares donde normalmente no ocurren periodos secos recurrentes. En estos lugares las consecuencias van desde la degradación del suelo, hasta la disminución en la producción de alimentos, con lo cual se afectará a la seguridad alimentaria de la población, debido al encarecimiento de los alimentos.

Algunas de las propuestas planteadas son las siguientes:

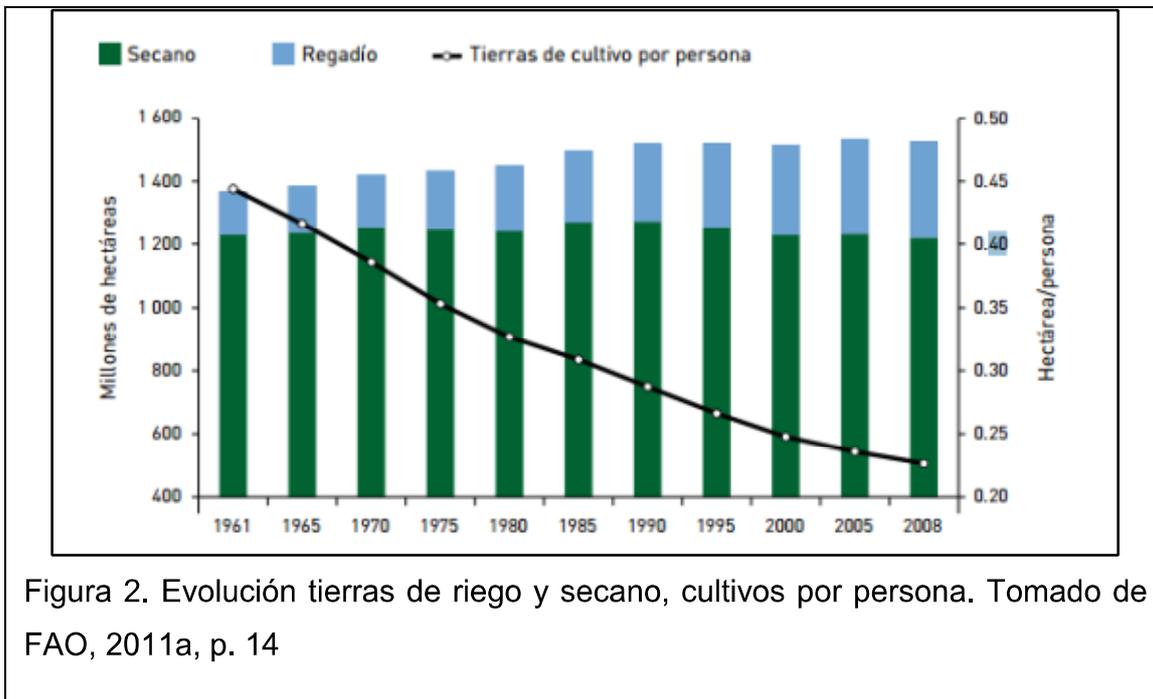
- Concienciar al público y desarrollar competencias para el abastecimiento de alimentos.
- Promover la agricultura urbana con el aprovechamiento de las experiencias locales y regionales en torno a las nuevas tecnologías en cultivos que permitan la diversificación de la agricultura.
- Desarrollar a nivel de ciudad infraestructura para el almacenamiento de alimentos.

En los años 2007 -2009 la crisis económica mundial trajo consigo el aumento en los precios de los comestibles y también el número de personas que padecieron hambre ascendió a una cifra superior a los 1000 millones. El hambre y la desnutrición en este periodo de crisis, ahondado el problema y según las

estimaciones actuales de la FAO, el número de personas desnutridas para el 2008 se elevaba a 915 millones (figura 1), la cifra más elevada de las estimadas en las últimos tres o cuatro décadas (sin embargo, esta cifra es inferior a la registrada en 1970) (Food and Agriculture Organization, 2009).



Pese a que se ha mejorado en promedio la productividad de alimentos, y por ende las hectáreas que necesita una persona para alimentarse (figura 2), ha pasado de 0.45 ha (1961) a 0.22 ha (2006) y aún se mantiene elevada la tasa de desnutrición. La producción se ha elevado debido entre otras cosas a la incorporación de nuevas tierras que cuentan con riego y a nuevas tierras que antes no se ocupaban para esta actividad (Food and Agriculture Organization, 2011a)



El aumento de las tierras regadas que producen alrededor del doble de las que no, trae consigo la presión a los recursos hídricos locales, generando escasez y así conflictos socio-ambientales. Esto ocurre principalmente en los países que afrontan déficit de abastecimiento, los cuales en promedio alojan al 40% de la población mundial (Food and Agriculture Organization, 2011b).

La incorporación de nuevas tierras para producción de alimentos ha aumentado desde 1961 al 2006 en 100 millones de hectáreas y hoy se sitúa en 1500 millones de hectáreas de un total de 4400 millones de hectáreas de tierras aptas para el cultivo. Del total se estima que un 25% están degradadas, 8% medianamente degradadas. Esto significa que si las tierras se continúan degradando por prácticas inadecuadas de cultivo, en un futuro cercano se tendrán que ocupar nuevos espacios para la producción de alimentos, generando más problemas socio-ambientales (Food and Agriculture Organization, 2011a)

1.1.4. La ciudad de Quito y su relación frente al cambio climático

Debido a su posición geográfica y a la topografía montañosa, el Ecuador es altamente vulnerable al cambio climático, especialmente en los recursos hídricos y de conservación (Comité Nacional sobre el Clima, 2001). Quito experimenta altos y extremos promedios de temperatura, un descenso en la precipitación total pero un aumento en los extremos de eventos torrenciales, lo cual causaría deslizamientos o avalanchas de lodo (Dirección Metropolitana de Ambiente y Fondo Ambiental, 2008).

La disminución de los glaciares y la destrucción de los páramos como sistemas de regulación hidrológica, aumentaran el costo ambiental y socio-económico del cambio climático. En el mediano plazo esta creciente vulnerabilidad a los riesgos climáticos agravarán los problemas de gobernabilidad del agua y aumentarán los conflictos entorno al recurso (Gobierno del Ecuador, United Nations Develop Program, & Ministerio de Ambiente, 2009). Uno de los sectores más vulnerables es la producción agrícola, debido principalmente a graves inundaciones y sequías que afectarán a los cultivos, además de la variabilidad que presentará el clima (Comité Nacional sobre el Clima, 2001).

1.1.5. Evidencias del cambio climático en la ciudad de Quito y sus estrategias de acción.

1.1.5.1. Estrategia Quiteña al Cambio Climático (EQCC) (2009).

Temperatura:

Basados en estudios elaborados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en la estación de Quito observatorio se ha evidenciado tendencia creciente al incremento de las temperaturas medias y extremas entre los años 1891 y 1999 (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente, 2009, pág. 11).

Precipitación:

Basados en estudios del INAMHI se conoce de los cambios en la frecuencia e intensidad de la precipitación. La distribución temporal de la precipitación arroja una cierta tendencia a la disminución. Sin embargo, esta debe ser más estudiada pues las condiciones climáticas en los últimos años en todas las escalas demuestra que la variación fundamental no puede determinarse únicamente en la cantidad sino también en la frecuencia y la intensidad (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente, 2009, pág. 12).

Estrategias:

Tabla 2. Estrategias de Quito para enfrentar el cambio climático.

Eje Estratégico	
La municipalidad del DMQ en su conjunto, dispone de la información adecuada para atenuar la vulnerabilidad y lograr una adaptación planificada al cambio climático sobre las áreas de intervención	
Objetivo Estratégico	Programa
Investigación y levantamiento de información	Línea base actual y de referencia futura de cambio climático
	Evaluación de la vulnerabilidad y oportunidades actuales y futuras de las áreas de intervención de la EQCC
	Líneas de investigación con las universidades y centros de investigación en el DMQ en temas específicos a cambio climático.
Sistema de información ambiental	Fortalecimiento del sistema de observación, monitoreo y seguimiento de las variaciones climáticas y desarrollo de inventario de GEI.
	Generación interinstitucional de información que construya una base de datos que sirva para la toma de decisiones
Gestión de riesgos y eventos climáticos extremos	Diseño e implementación del sistema de gestión de riesgos climáticos.
	Diseño e implementación de sistema de alertas tempranas para eventos climáticos extremos.

Continuación de la tabla 2

Eje Estratégico	
Uso de tecnologías y buenas prácticas ambientales para reducir las emisiones y captura GEI y mejorar la adaptación al cambio climático.	
Objetivo Estratégico	Programa
Reducción de emisiones	Promoción y uso de energías renovables y eficiencia energética.
	Mejoramiento de la gestión de la movilidad y transporte.
	Uso y transferencia de buenas prácticas y tecnologías limpias en los sectores industriales.
	Creación y mantenimiento de sumideros y depósitos de carbono (forestación, reforestación, REDD).
Mitigación y adaptación	Mejora en los sistemas de producción (agrícolas, agropecuarios, agroforestales, agroecológicos) considerando las nuevas condiciones climáticas.
	Promoción del reciclaje y de una gestión integral de los residuos sólidos.
	Gestión integral e integrada de los recursos hídricos.
	Promoción de construcciones eficientes y sustentables.
	Conservación de los ecosistemas, especies y recursos genéticos vulnerables a las variaciones climáticas.
	Creación de planes de salud para la población para responder a la variación climática y monitoreo de las enfermedades sensibles al clima.

Continuación tabla 2

Eje Estratégico	
Comunicación, educación y participación ciudadana respecto al cambio climático.	
Objetivo Estratégico	Programa
Comunicación y participación ciudadana	Difusión y promoción de la EQCC a los ciudadanos del DMQ.
	Información permanente mediante campañas, sensibilización y cooperación ciudadana, prácticas ciudadanas en el uso sustentable de los recursos naturales (agua, energía, etc.)
	Implementación de mecanismos ciudadanos e institucionales de participación ciudadana en la aplicación de la EQCC.
Educación	Diseño e implementación de programas de educación formal en el sistema educativo del DMQ en I que se eduque sobre las causas y los impactos actuales y futuros del cambio climático y las medidas a ser tomadas para reducir los efectos negativos de este fenómeno.
	Diseño e implementación de campañas de educación no formal sobre las causas y los impactos actuales y futuros del cambio climático con énfasis en la aplicación de buenas prácticas ambientales que afecten positivamente al cambio climático.
Eje Estratégico	
Fortalecimiento de la institucionalidad y capacidades del DMQ liderado por el Municipio de Quito.	
Objetivo Estratégico	Programa
Capacidades institucionales	Consolidación del marco normativo y reglamentario de la EQCC al interior y exterior del DMQ.
	Incorporación de la EQCC, así como los planes y políticas relacionados, en la planificación y trabajo operativo en las instancias políticas técnicas ya conformadas.
	Fortalecimiento de la capacidad de coordinación y cooperación interinstitucional en el DMQ.

Nota: Se relacionan diversas áreas de acción con los programas que se deben generar para planificar y considerar al cambio climático como un evento real. Tomado de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente, 2009, págs. 21-29

1.1.6. Plan de acción climático de Quito

Resumen tomado del informe de Plan de Acción climático (Secretaría de Ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2012).

Eneste marco “se implementa una serie de medidas de disminución de vulnerabilidad y adaptación a los impactos del cambio climático, así como de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, o mitigación.”

1. Movilidad sustentable

El aumento del parque automotor debido a la disposición actual de bienes y servicios en la zona céntrica de la ciudad y el detrimento de la calidad del aire que trae consigo este modelo de movilidad, articulan las siguientes acciones:

- Sistema integrado de Metrobús-Q; el metro de Quito; sistema de restricción vehicular; red metropolitana de ciclo vías; bicicleta pública y revisión técnica vehicular.

2. Gestión integral de riesgos climáticos

El distrito metropolitano de Quito convive con un gran número de riesgos, numerosos de ellos debido a una serie de factores naturales y antrópicos. Muchos de estos riesgos se relacionan con los centenares de quebradas presentes en su geografía y la manera en la que convivimos con ellas. Debido a esto el cambio climático hasta la fecha ya ha mostrado las debilidades que presenta la ciudad, por lo tanto se generarán las siguientes medidas.

- Sistema integral de información de riesgos; plan distrital de gestión de riesgos; programa de relocalización de familias damnificadas y en alto riesgo no mitigable.

3. Valoración y conservación del patrimonio natural

El distrito aún conserva el 60% de cobertura vegetal natural la cual es excepcionalmente diversa. Su orografía y posición geográfica permiten que la ciudad posea esta característica. Sin embargo factores naturales y antropogénicos en su mayoría, mantienen el 0.4% de pérdida de bosques, páramos y áreas semi-naturales. Las capacidades políticas y de propuestas son las siguientes:

- Subsistema metropolitano de áreas naturales protegidas; laderas del Pichincha; campaña “Salvemos al Ilaló”.

4. Red Verde Urbana

La conservación de áreas naturales remanentes, quebradas y parques, e incrementar el componente natural de las zonas urbano/urbanizables del DMQ. Esta acción es necesaria si se desea alcanzar y superar el estándar mínimo de 9 m² de área verde por habitante urbano, según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud. Las acciones que se consideran son las siguientes:

- La red verde urbana; terrazas verdes como una alternativa de construcción sustentable para promover el rescate de este escaso y valioso espacio natural, además que pueden ser incorporados para el desarrollo de la agricultura urbana; corredores ecológicos.

5. Gestión integral e integrada de recursos hídricos

Sin lugar a duda el agua es uno de los recursos que estará más afectado por los impactos actuales y futuros del cambio climático. Las acciones de

conservación de las cuencas hídricas y la descontaminación de los ríos son elementos clave para gestionar con responsabilidad.

- Plan de adaptación al cambio climático del sistema de abastecimiento de agua potable Pita - Puengasí; conservación y restauración de áreas de páramo; programa de descontaminación de los ríos de Quito.

6. Gestión integral de residuos sólidos

La generación de residuo sólidos diariamente asciende a 1800 TM, es decir, 0,86 Kg. por habitante. Las acciones que el municipio aborda están dirigidas al fortalecimiento institucional, inclusión económica y social, reducción y aprovechamiento:

- Empresa metropolitana de gestión integral de residuos sólidos (EMGIRS).
- EMASEO EP.
- Recolección selectiva e inclusión social.
- Zámbriza verde.
- Utilización de fundas plásticas en el DMQ

7. Eficiencia energética y energías alternativas

Las políticas aún se encuentran en etapa de planificación piloto con el fin de generar efecto demostrativo y multiplicador a nivel local y nacional, en los sectores público y privado.

El programa de paneles fotovoltaicos para la generación eléctrica y su consumo en edificaciones estratégicas de la ciudad. Este programa contempla la instalación en las paradas y estaciones del corredor central norte en primera fase.

8. Consolidación de una cultura ambiental y de buenas prácticas ambientales

Buenas prácticas ambientales que se aplican entre grupos específicos: 1) comunidad educativa, 2) los barrios y 3) la estructura orgánica municipal.

Mediante el sistema de reconocimiento e incentivos a iniciativas de responsabilidad social y ambiental en el sector privado.

9. Sensibilización y generación de conocimiento sobre cambio climático

Este programa engloba dos acciones: la creación de una agenda de investigación conjunta con la academia; la concepción de un centro de investigación de cambio climático y; el centro demostrativo de energía limpias y la casa ecológica Yakú.

Panel Quiteño de Cambio Climático, es un órgano independiente de asesoramiento científico y técnico para la toma de decisiones del municipio del DMQ.

El centro de cambio climático de Quito, en fase de propuesta, además de realizar investigación y generación de conocimiento, también contribuirá a la generación y fortalecimiento de talento humano.

La primera Cumbre Nacional de Autoridades Locales Pacto Climático, es el primer encuentro de autoridades locales a nivel nacional. El evento será cada dos años como cumbre y anual como seguimiento.

El Pacto Climático de Quito, es una serie de compromisos que busca generar acciones concretas, eficaces y medibles en la mitigación y adaptación de los gobiernos locales al cambio climático.

10. Gestión ambiental municipal

El municipio ha desarrollado una normativa específica y está implementando la institucionalidad de la autoridad ambiental local:

- Estrategia del Distrito Metropolitano de Quito al Cambio Climático y su Plan de Acción.
- Desarrollo institucional
- Eco-oficinas
- Manual de Buenas Prácticas Ambientales del Municipio del DMQ
- Plataforma de Seguimiento del Pacto Climático de Quito
- Sistema Nacional de Acciones Locales de Cambio Climático

1.2. Agricultura Urbana y Periurbana

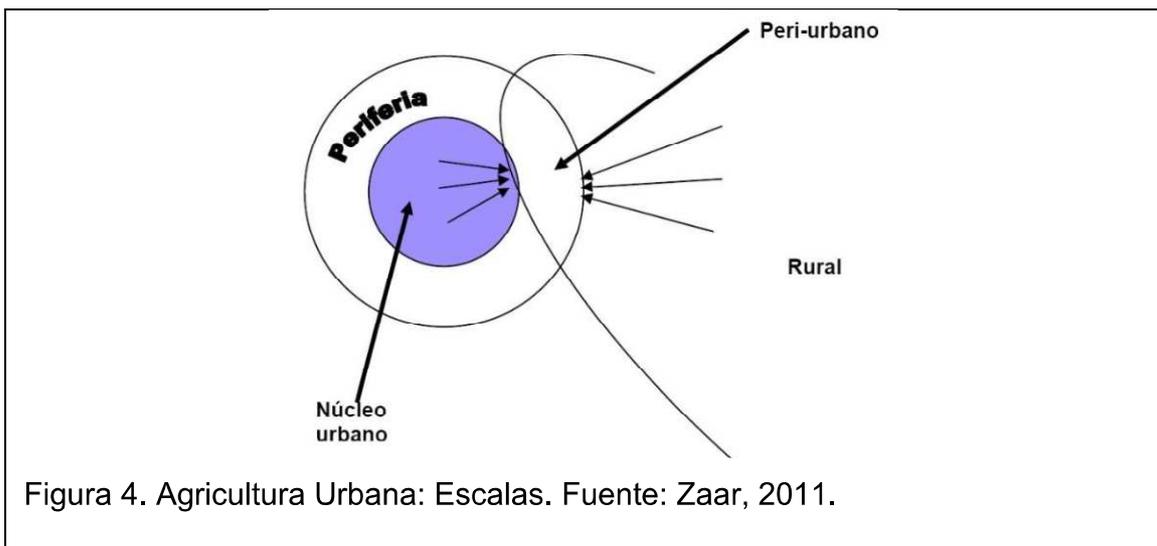
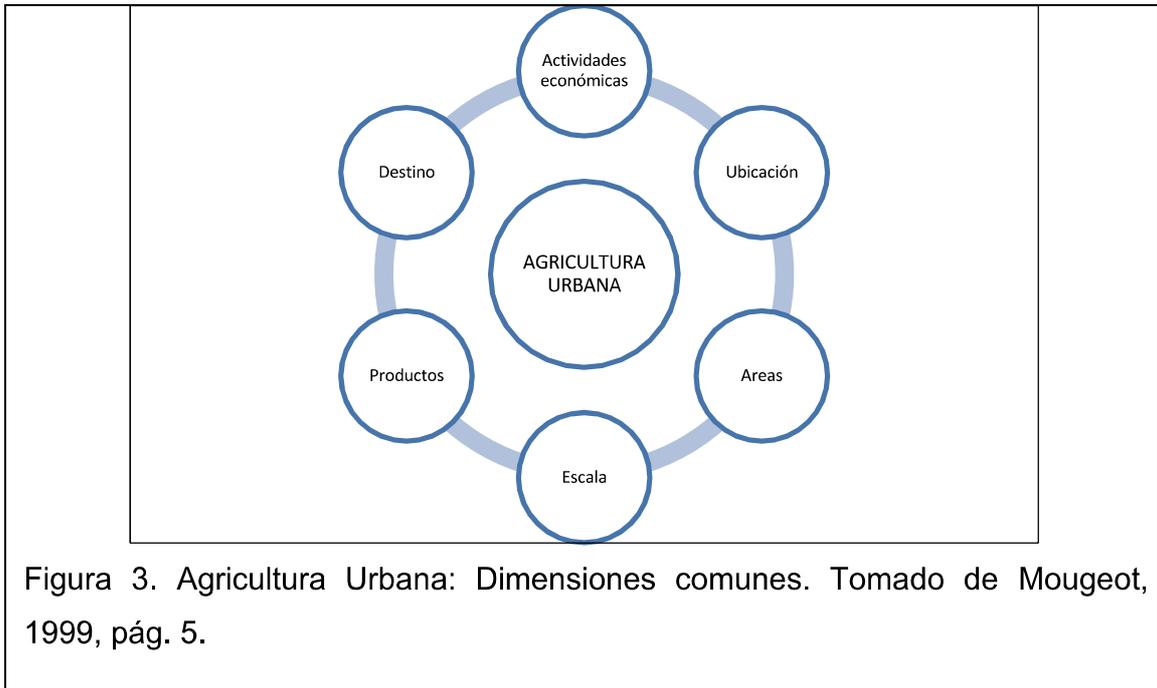
1.2.1. Concepto

El término agricultura urbana y periurbana se refiere a las prácticas agrícolas que se desarrollan dentro o en las periferias de las ciudades de todo el mundo e incluye la producción, procesamiento de productos agropecuarios, pesqueros y forestales (Zaar, 2011).

Otra definición más integral de Agricultura Urbana es la siguiente la que propone Mougeot (1999):

“La Agricultura Urbana es una industria ubicada dentro (intra-urbana) o en la periferia (peri-urbana) de un pueblo, una ciudad o una metrópoli, que cultiva o cría, procesa y distribuye una diversidad de productos alimenticios y no-alimenticios, (re)utilizando en gran medida recursos humanos y materiales, productos, y servicios que se encuentran y alrededor de dicha zona urbana, y a su vez provee recursos humanos y materiales, productos y servicios en gran parte en esa misma zona urbana.”

Sin embargo es necesario visualizar el concepto desde una perspectiva integral, por lo tanto, los componentes básicos conceptuales de la agricultura urbana que se han registrado son: clases de actividad económica, categorías y sub categorías alimenticias de productos, perfil intra-urbano y peri-urbano del sitio, tipos de áreas donde se la práctica, tipos de sistemas de producción, destino del producto y escala de la producción (Mougeot, 1999).



1.2.2. Conexión con el ecosistema urbano

No solo el hecho de la ubicación de la agricultura urbana diferencia de la agricultura rural, sino la interacción entre el entorno urbano o ecosistema urbano (Mougeot, 1999, pág. 10)

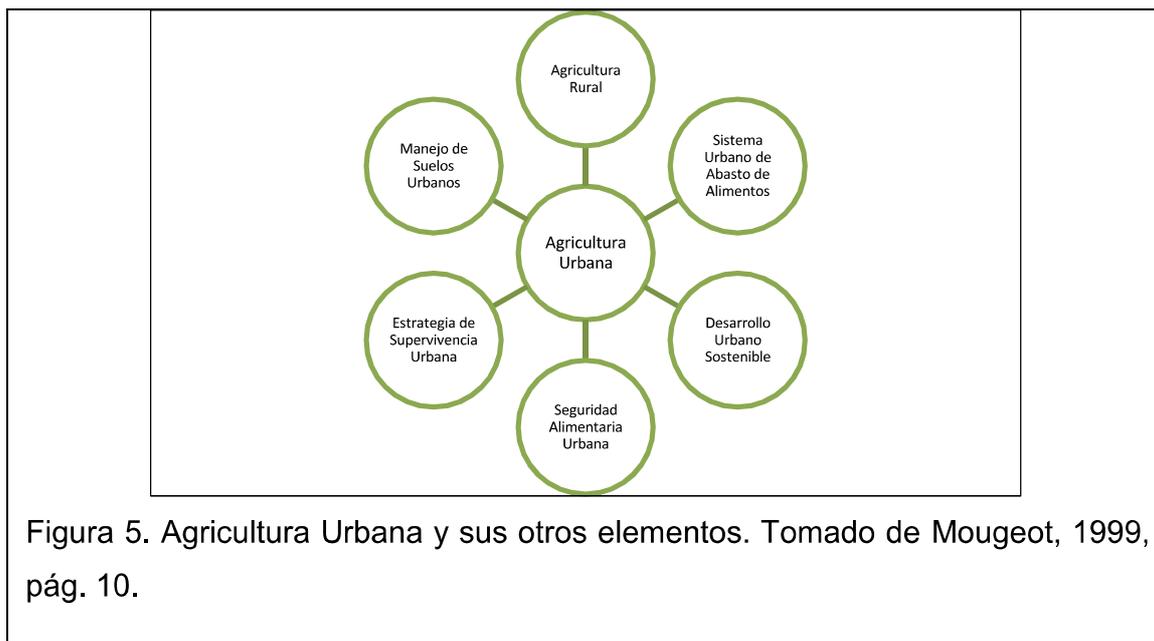


Figura 5. Agricultura Urbana y sus otros elementos. Tomado de Mougeot, 1999, pág. 10.

La agricultura urbana y periurbana contribuye desarrollo económico local, reducción de la pobreza, reconoce al alimento como un derecho urbano, la inclusión social de la pobreza urbana en particular de la mujer, así como el reverdecimiento de las ciudades y el re uso o reciclaje productivo de los desechos urbanos (Worldbank y FAO, 2008, págs. 9-17). Contribuye a la seguridad alimentaria, nutrición y medición de subsistencia en diferentes formas:

- Provee de autoconsumo familiar, contribuyendo con una dieta saludable y ahorro en gastos alimenticios.
- Provee un recurso económico, a través de los excedentes de producción que se posean.

- Aporta con un mercado local con alimentos frescos y nutritivos con precios competitivos.
- Promueve a la conservación de áreas naturales y áreas verdes a través de la gestión paisajística tanto en zonas urbanas, periurbanas y rurales.

1.2.3. Recursos naturales y tecnología para cultivos urbanos

El agua lluvia es una alternativa para tener agua de buena calidad en cultivos urbanos sin comparar con el sistema de agua potable. A continuación se presenta un cuadro con tecnologías y metodologías con sus desafíos y recomendaciones.

Tabla 3. Recolección de aguas lluvias en techos.

Tecnologías y Metodologías	Desafíos para su adopción y ampliación.	Recomendaciones para los desafíos.
<ul style="list-style-type: none"> • Área: m2 de techo destinadas a la recolección. • Tanque de almacenamiento externo. • Cálculo de cantidad de agua lluvia disponible en el año. • Área de cultivo beneficiaria. • Costos • Monitoreo de la calidad de agua. 	<p>Para su adopción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de la recolección debe estar definido desde el inicio. • Realizar un diseño, modelos, cálculos de área necesaria que se necesita para abastecer el sistema. • Capacidad del tanque de almacenamiento. • Control de la calidad del agua. • Generar datos útiles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para construir mediante la capacitación en formas de calcular y como aplicar la captación de agua en el cultivo. • Desarrollar procedimientos y listado de materiales. • Monitorear el potencial y la viabilidad de la recolección de agua lluvia. • Mapear el potencial de agua lluvias que se pueden recolectar. • Proveer de información de costo beneficio.

Nota: Metodologías y tecnologías resumidas, los desafíos para su aplicación y recomendaciones. Tomado de (FAO, 2012)

En las zonas urbanas y periurbanas, el agua y suelo son frecuentemente escasos y degradados. Suelos compactados, pocos espacio, suelos con baja proporción de materia orgánica, y precipitaciones escasas son los factores que más influyen en la producción de alimentos en y alrededor de las ciudades (Worldbank & FAO, 2008, págs. 9-17). A continuación se presentan algunas metodologías y técnicas para desarrollar un eficiente y productivo uso de estos recursos escasos y degradados.

Tabla 4. Sistema de riego eficiente y sustratos aplicado a cultivos urbanos.

Tecnologías y Metodologías	Desafíos para su adopción y ampliación.	Recomendaciones para los desafíos.
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de riego por goteo hecho con materiales locales y accesibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere tiempo para instalar y empezar a usar el sistema. • Taponamiento del sistema de goteo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de costo / beneficio para demostrar ventajas y promover investigación. • Involucrar al sector privado.
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema por goteo usando botellas plásticas. • Desechos orgánicos familiares para compost. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita espacio para los tanques de composta. • Las botellas necesitan ser recargadas con regularidad (una vez por día) 	<ul style="list-style-type: none"> • Micro financiamiento. • Promover los potenciales comerciales. • Buscar apoyo de subsidios del gobierno.
<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas acuaponia, combinando horticultura sin suelo (hidropónica) y desarrollo de peces (acuicultura) en un sistema cerrado de recirculación de agua y nutrientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • No es fácil el mantenimiento y operación del sistema. • Costo del sistema (1000 USD). • Inspirar el cambio de cultura y de hábitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos públicos para recompensar las buenas prácticas.

Nota: Riego y sustratos para cultivos urbanos, tecnologías, desafíos y recomendaciones. Es un resumen básico de las consideraciones que se deben tomar. Fuente: FAO, 2012

1.2.4. Acciones de la población quiteña en torno a la agricultura urbana.

En Quito, la mayoría de los habitantes pobres, indígenas, y migrantes, que habitan en laderas y pendientes están practicando agricultura urbana con el fin de mejorar su nutrición y sus ingresos. En la década de 1980 y 1990 algunas poblaciones de indígenas andinos migraron hacia Quito, las familias se establecieron en casas y refugios en aproximadamente 64 laderas y quebradas alrededor de Quito, estas a menudo recurrían a pequeñas prácticas urbanas de agricultura como un mecanismo de sobrevivencia social.

Además en la ciudad de Quito se creó un programa llamado AGRUPAR dentro de la corporación de desarrollo económico metropolitano para ayudar a los agricultores urbanos. Este ayuda con la dotación de semillas y capacitación para ayudar a mejorar la producción agrícola y su comercialización, así como fortalecer su capacidad de gestión (Anguelovski, 2009, págs. 25-26).

1.3. Conceptos meteorológicos empleados

1.3.1. Estaciones Meteorológicas

Se ubican en zonas determinadas y se instalan diversos instrumentos que permiten medir las diferentes variables atmosféricas, es un lugar destinado para la investigación de fenómenos de la atmosfera. Según sus características algunos deben estar en el exterior y otros deben estar protegidos de las radiaciones solares para que estas no alteren los registros, sin embargo es necesario que el aire circule entre estos. Otros deberán estar dentro de una garita (caseta meteorológica) con el objeto de protegerlos de las inclemencias del tiempo (Escuela Técnica IPEM 56 Abraham Juarez, 2008).

Tabla 5. Instrumentos de medición y variables de medida en estaciones meteorológicas.

Instrumentos de medición	Variables de medida
Termómetro	Mide las temperaturas en horarios determinados del día.
Termómetro de máxima y mínima	Mide las temperaturas máxima y mínima.
Termómetro de subsuelo	Mide temperaturas a 5, 10,20, 50 y 100 cm. de profundidad.
Termómetro de mínima	Junto al suelo: mide la temperatura mínima a una distancia de 15 cm. sobre el suelo.
Barómetro	Mide la presión atmosférica en superficie.
Pluviómetro	Mide la cantidad de precipitación.
Psicómetro	Mide la humedad relativa del aire y la temperatura el punto de rocío.
Piranómetro	Mide la insolación solar.
Heliógrafo	Determina las horas de sol en el día.
Anemómetro	Mide la velocidad del viento.
Cielómetro	Mide la altura de las nubes en el punto donde éste se encuentre colocado.
Bolómetro	Mide la cantidad total de radiación electromagnética que viene de un objeto en todas las longitudes de onda.
Radar meteorológico	Es empleado para localizar precipitaciones, calcular sus trayectorias y estimar sus tipos (lluvia, nieve, granizo, etc.).
Manga de viento	Es utilizado para determinar la dirección y velocidad del viento con respecto a la horizontal del suelo.
Heliómetro	Se utiliza para medir la intensidad de la luz y registrar el ángulo de incidencia.
Veleta	Indica la dirección del viento.

Nota: Varios instrumentos de medida que se pueden encontrar en una estación meteorológica. Tomado de: Escuela Técnica IPEM 56 Abraham Juárez, 2008.

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 6. Clasificación de las estaciones meteorológicas.

SEGÚN SU FINALIDAD	CLASIFICACION
Sinóptica	Climatológica Agrícolas Especiales Aeronáuticas Satélites
De acuerdo a la magnitud de las Observaciones	Principales Ordinarias Auxiliares o adicionales
Por el nivel de observación	Superficie Altitud
Según el lugar de observación	Terrestre Aéreas Marítimas

Nota: Síntesis de su clasificación según su finalidad. Tomado de: Nimbus Weather Services, 2001

Una estación meteorológica puede poseer diferentes objetivos, dependiendo de las intenciones para los cuales fue instalada. La información recabada se emplea en varias aplicaciones e investigaciones adicionales que le dan sus características. Consecuente, en una estación meteorológica pueden juntarse dos o más categorías simultáneamente (Nimbus Weather Services, 2001)

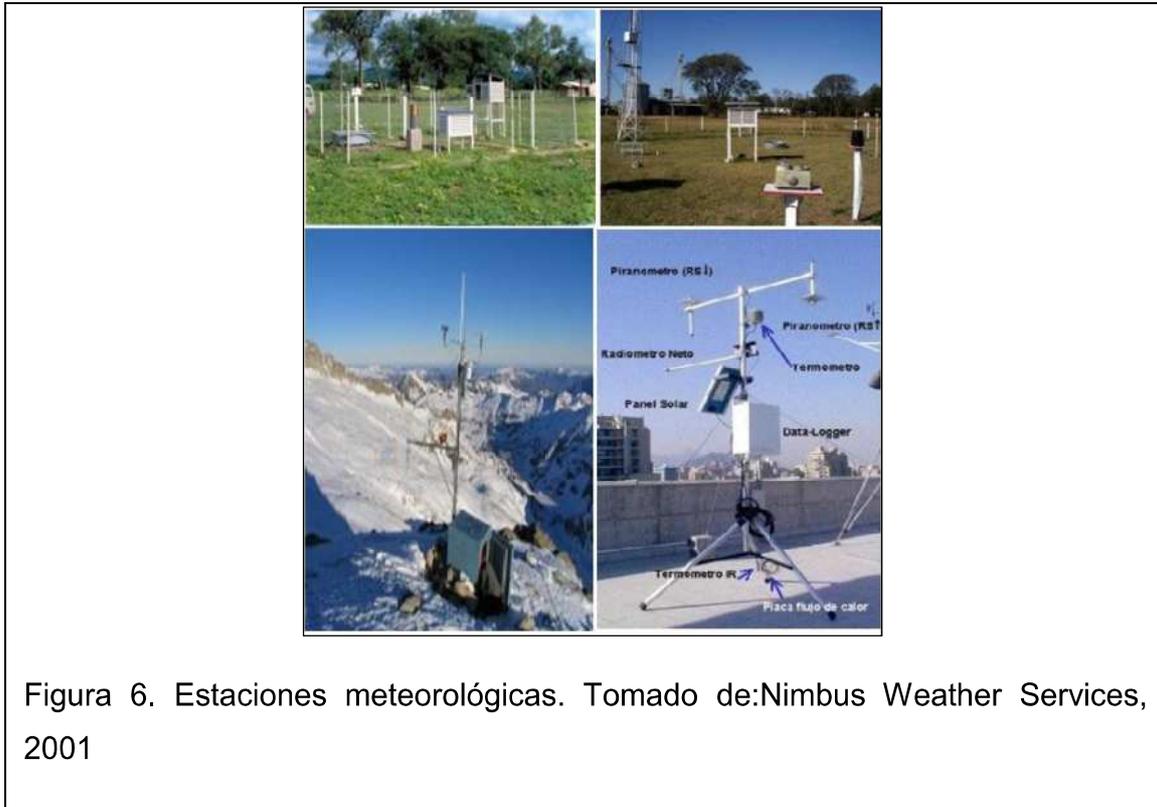


Figura 6. Estaciones meteorológicas. Tomado de: Nimbus Weather Services, 2001

1.3.2. Procesamiento de datos meteorológicos

El interés principal en el uso de los datos meteorológicos y climatológicos observados no es describir los datos, pero si el generar inferencias de una representación limitada de los eventos de los complejos sistemas físicos que son de gran ayuda para los usuarios de la información climatológica. La interpretación de los datos climatológicos usualmente involucra ambas comparaciones la temporal y espacial entre las características de frecuencias en ambos casos (World Meteorological Organization, 2011, pág. 73).

1.3.3. Relleno estadístico de los datos o registros

Los datos climáticos de una determinada variable Y_i observada en una estación en particular, son en muchos casos incompletos debido a las interrupciones cortas de

en las observaciones. Las interrupciones pueden ocurrir debido a muchas causas. En los casos de poseer registros o bases de datos con datos faltantes, se puede completar estos mediante el empleo de registros a partir de observaciones X_i y así completar los registros que contienen los datos Y_i , es necesario que estos registros sean homogéneos, en otras palabras deben representar las mismas condiciones. Este procedimiento se lo debe realizar una vez realizada la prueba de homogeneidad y de realizar las correcciones necesarias en caso de encontrar que ambos registros de datos no son homogéneos.

El método de sustitución empleado consiste en emplear un análisis de regresión, el cual se resume a continuación (FAO, 2006):

1. Selección de una estación meteorológica cercana a la analizada y su registro temporal sea equivalente.
2. Caracterización de los registros de la estación cercana (X_i) y de la estación que no posee los datos completos (Y_i) mediante el cálculo de la media \bar{x} y de la desviación estándar s_x de la base de datos X_i .

Media X_i

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Desviación estándar X_i

$$s_x = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Y también la media de \bar{y} y la desviación estándar s_y del registro Y_i :

Media Y_i

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Desviación estándar Y_i

$$s_y = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{(n-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

x_i, y_i = Observaciones individuales de los registros X_i y Y_i

n = Número de observaciones de cada registro.

3. Cálculo de una regresión de Y con X para los periodos en que los datos en ambos registros están presentes:

Cálculo de la regresión

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad (\text{Ecuación 5})$$

Con,

Cálculo de constante b (punto de intersección con eje x)

$$b = \frac{cov_{xy}}{s_x^2} = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Cálculo de constante a (punto de intersección con y)

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Dónde:

a, b = constantes de regresión.

cov_{xy} = covarianza entre X_i y Y_i .

Se deben representar todos los puntos $(x_i)(y_i)$ y la línea de regresión para el rango de valores observados. Si las desviaciones con respecto a la línea de regresión se incrementan a medida que aumenta, entonces la sustitución o estimación no es recomendable porque esta desviación indica que las dos localidades tienen diversos comportamientos con respecto a la variable analizada y que podrían no ser homogéneas, para ese caso se debe seleccionar otra estación próxima.

4. Cálculo del coeficiente de correlación:

$$r = \frac{cov_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}))}{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)^{1/2}} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Un r^2 elevado ($r^2 \geq 0.7$) y un valor de b dentro del rango ($0.7 \leq b \leq 1.3$), indica buenas condiciones de los datos y quizás suficiente homogeneidad como para sustituir datos que faltan en la serie incompleta de datos.

5. Calculo de los datos para periodos faltantes $k = n + 1, n + 2 \dots, m$ usando la ecuación de regresión caracterizada por los parámetros a y b .

Calculo de datos de periodos faltantes

$$\widehat{y}_k = a + bx_k \quad (\text{Ecuación 9})$$

6. El registro completo con dimensiones m será:

Relleno de registro

$$\begin{aligned} Y_j &= y_i \\ Y_j &= \widehat{y}_k \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 10})$$

1.3.4. Homogenización de las series de datos

El análisis de los datos climáticos para detectar cambios y tendencias es más fiable cuando se usan bases de datos homogenizadas. Una base de datos climática homogenizada es aquella en la que todas las fluctuaciones contenidas en su serie de tiempo reflejan la variabilidad real y el cambio del elemento del clima representado. Muchas metodologías estadísticas asumen que los datos obtenidos están libres de errores debido a la instrumentación, codificación, procesamiento y demás errores no meteorológicos y climatológicos (World Meteorological Organization, 2011).

El proceso de recolección de información (datos) puede variar por diversos factores como: cambios de instrumentos, falta de mantenimiento, problemas con los instrumentos, crecimiento de vegetación o cambio del entorno.

Los cambios citados con lleva a que las observaciones realizadas antes del cambio pertenezcan a una población estadística diferente a la de los datos recabados después del cambio. Por lo tanto es necesario aplicar métodos apropiados para evaluar la homogeneidad y, si no, introducir las correcciones necesarias. El proceso indicado se basa en la comparación estadística de dos registros, uno homogéneo X_i , el otro el que está bajo el análisis Y_i de la misma variable climática. Los registros deben provenir de estaciones ubicadas en la misma zona climática, las mismas tendencias en tiempo (FAO, 2006).

1.3.4.1. Método de residuos acumulados

Se considera el registro de la estación meteorológica X_i como homogénea, el registro de la segunda estación Y_i se puede considerar homogénea si los residuales acumulados del segundo registro a partir de una línea de regresión basada en el primer registro no se desvían notoriamente (FAO, 1998).

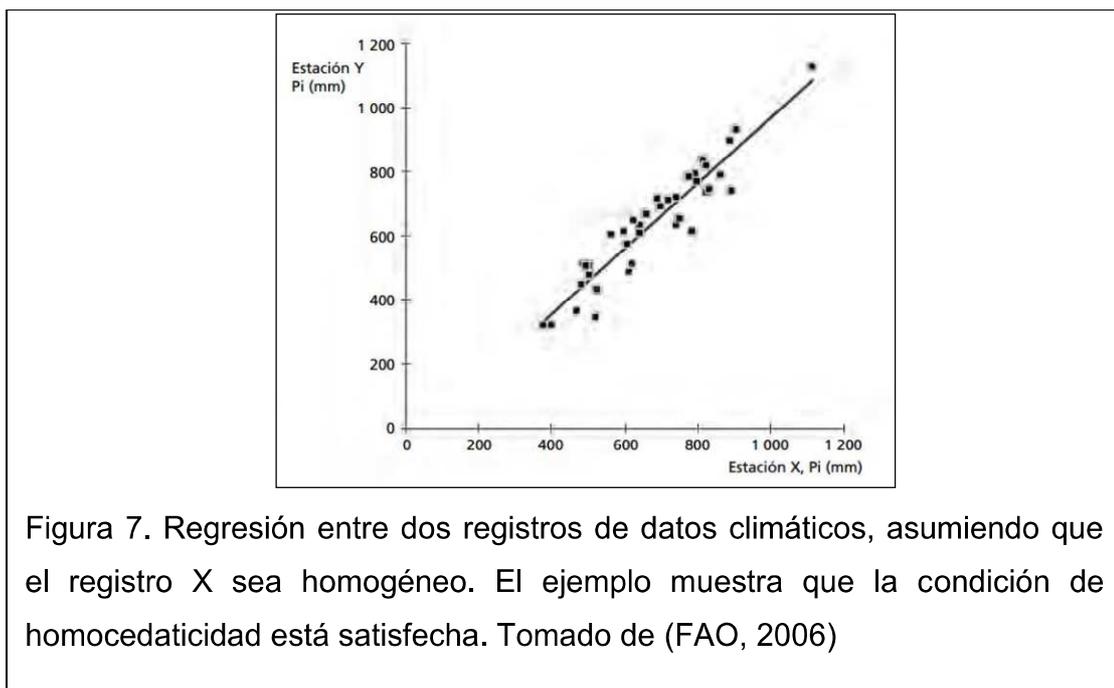
1. Selección de una estación meteorológica de referencia que se sabe que posee un registro homogéneo X_i , de la misma variable y de la misma zona climática. Como alternativa, se puede construir una serie homogénea realizando un promedio de observaciones de varias estaciones en la misma región.
2. Organización del registro en orden cronológico, de tal manera sean los registros idénticos.
3. Para los dos registros se debe calcular la media y desviación estándar (ecuaciones 1-4), tanto para la variable homogénea como para la variable analizada.

4. Cálculo y trazado de la línea de regresión entre las dos variables Y_i y X_i y el coeficiente de correlación asociado (ecuaciones 5-8). La ecuación 11 expresa la regresión entre ambos sistemas.

$$\hat{y}_i = a_f + b_f x_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde el subíndice f se refiere al sistema completo. Siempre que se pueda, se debe trazar un diagrama x_i, y_i y la línea de regresión para verificar visualmente la hipótesis de homocedasticidad puede ser aceptada (figura 7).



5. Cálculo de los residuales de los valores observados Y_i con respecto a la línea de regresión (ecuación 12), de la desviación estándar $s_{x,y}$ de los residuales del E_i residual acumulativo correspondiente.

Calculo de los residuales

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y}_i \quad (\text{Ecuación 12})$$

Calculo de la desviación estándar de los residuales

$$s_{y,x} = s_y(n - r^2)^{1/2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Calculo del residual acumulativo

$$E_i = \varepsilon_i + \sum_{j=1}^{i-1} \varepsilon_j$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, i - 1 \quad (\text{Ecuación 14})$$

6. Selección de un nivel de probabilidad p para aceptar la hipótesis de homogeneidad. $p=80\%$.

Calculo de la elipse, eje α

$$\alpha = n/2 \quad (\text{Ecuación 15})$$

Calculo de la elipse, eje β

$$\beta = \frac{n}{(n-1)^{1/2}} z_p s_{y,x} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde,

$n =$ tamaño de la muestra analizada

$z_p =$ variante estándar normal para la probabilidad p (tabla 7)

$s_{y,x} =$ desviación estándar de los residuales de y (ecuación 13)

La ecuación paramétrica de la elipse será:

$$X = \alpha \cos(\theta)$$

$$Y = \beta \cos(\theta)$$

(Ecuación 17)

con θ (rad) variendo de 0 a 2π .

Tabla 7. Valor de la variante estándar z_p para diferentes probabilidades p de no excedencia.

p (%)	Z_p	p (%)	Z_p
50	0,00	80	0,84
60	0,25	85	1,04
70	0,52	90	1,28
75	0,67	95	1,64

Nota: Debido a la simetría de la distribución normal, los valores para $p < 50\%$ corresponden a $(100-p)$ con el signo contrario. Ej. $p=20\%$; $z = -z_{80} = -0.84$. Tomado de: FAO, 2006

Se puede concluir que con probabilidad p , no hay desviaciones en la distribución de residuales, y así, el registro Y_i puede considerarse homogéneo, cuando los valores calculados de E_i se encuentren dentro de la elipse.

7. Los residuales acumulados E_i se trazan con respecto al tiempo usando la escala temporal de la variable analizada

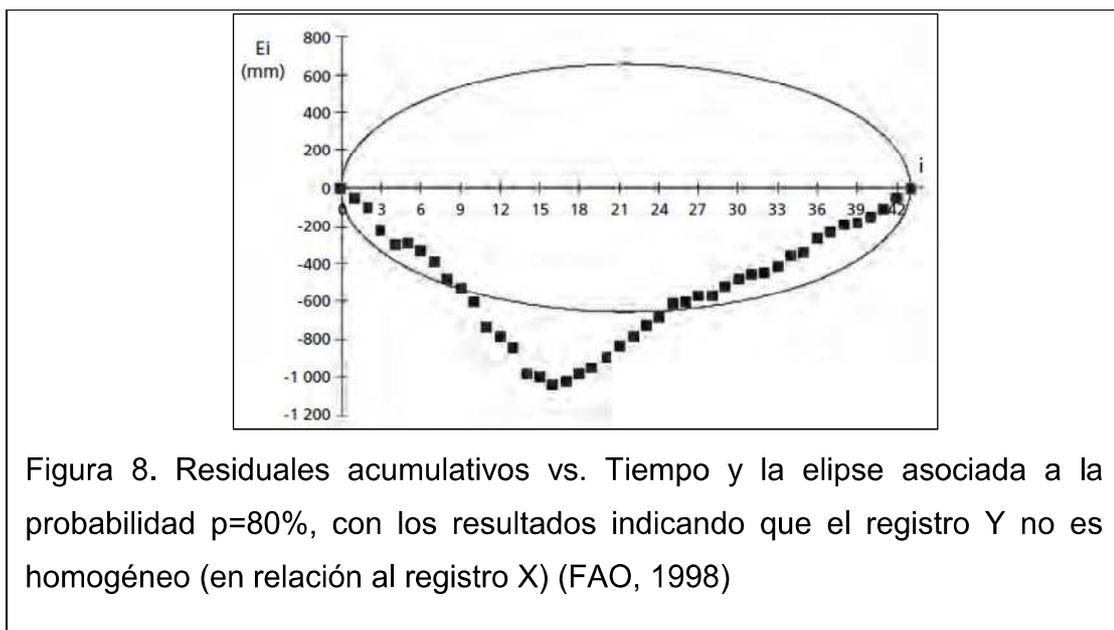


Figura 8. Residuales acumulativos vs. Tiempo y la elipse asociada a la probabilidad $p=80\%$, con los resultados indicando que el registro Y no es homogéneo (en relación al registro X) (FAO, 1998)

8. La elipse se dibuja en el mismo diagrama, y si, todos los E_i se encuentran dentro de la elipse, entonces la hipótesis de la homogeneidad se acepta al nivel de confianza p (figura9).

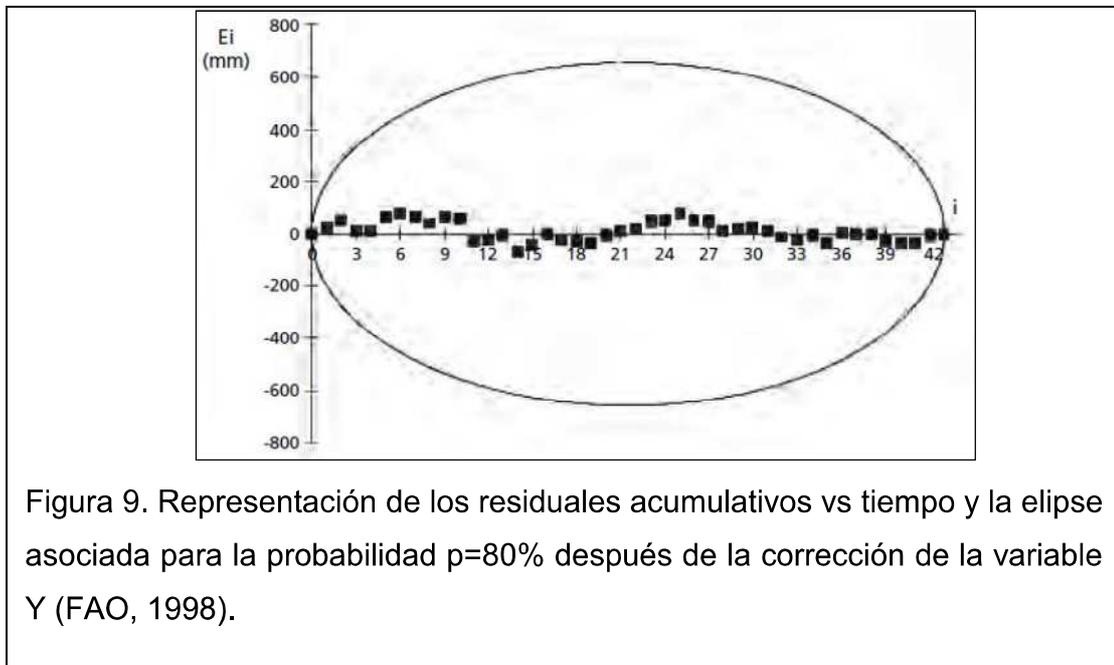


Figura 9. Representación de los residuales acumulativos vs tiempo y la elipse asociada para la probabilidad $p=80\%$ después de la corrección de la variable Y (FAO, 1998).

9. Si la hipótesis de homogeneidad no se cumple (figura 8), entonces se puede seleccionar el punto de inflexión en el que aparentemente E_i ya no aumenta (o disminuye) y comienza a disminuir (o aumentar), p.e. $i=16$ en la figura 8. Este punto se conoce como $K=i$.
10. Ahora el registro se divide en dos sub-registros-. El primero a partir de 1 a k , el segundo a partir de $k+1$ hasta n . De aquí se calculan nuevas ecuaciones de regresión entre Y y X para ambos sub registros. Si suponemos que el segundo sub-registro es homogéneo pero no así el primero entonces tenemos.

Primer sub-registro

$$\hat{y}_i = a_{nh} + b_{nh}x_i$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

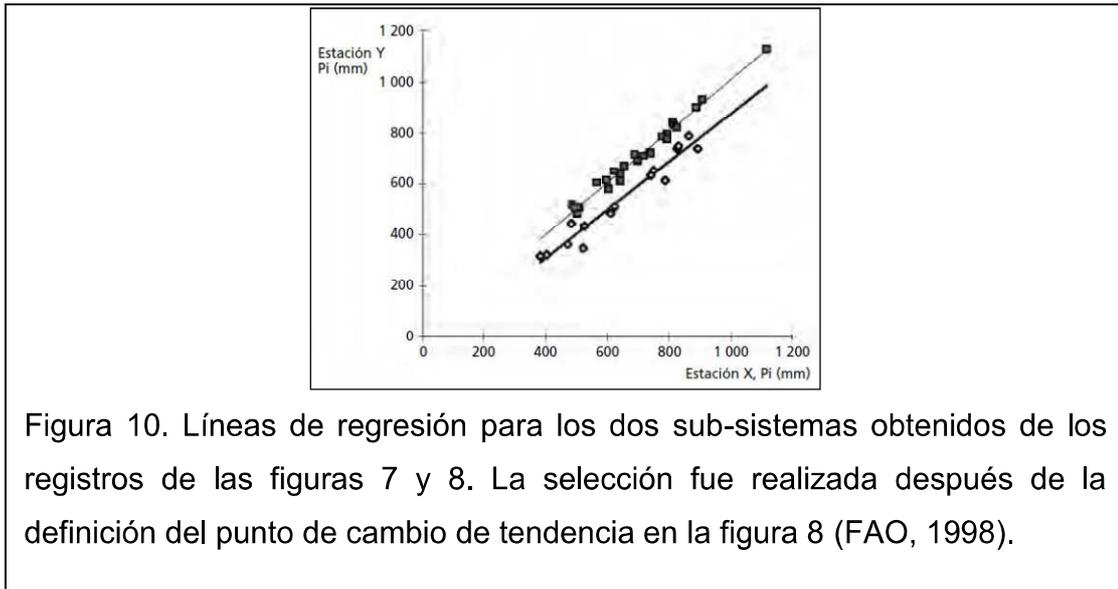
(Ecuación 18)

Segundo sub-registro

$$\hat{y}_i = a_h + b_h x_i$$

$$i = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde los subíndices h y nh identifican los coeficientes de regresión de los sub-registros homogéneos y no homogéneos, respectivamente



11. Cálculo de las diferencias entre las dos líneas de regresión

$$\Delta \hat{y}_i = (a_h + b_h x_i) - (a_{nh} + b_{nh} x_i)$$

$$\text{para el rango no homogéneo } (i = 1, 2, \dots, k) \quad (\text{Ecuación 20})$$

12. Corrección de la parte no homogénea del registro Y

$$y_{c,i} = y_i + \Delta \hat{y}_i$$

$$(i = 1, 2, \dots, k) \quad (\text{Ecuación 21})$$

El subíndice c identifica los valores corregidos. Entonces el registro completo para la variable estudiada Y está compuesta por:

Ecuaciones para el registro completo

$$Y_i = y_{c,i} \text{ for } i = 1, 2, \dots, k$$

$$Y_i = y_i \text{ for } i = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (\text{Ecuación 22})$$

De igual manera, un procedimiento similar se debe utilizar si se presume que es el segundo sub-registro el que requiere la corrección, en lugar del primer subconjunto.

Para confirmar los resultados del registro Y, la metodología de la prueba de homogeneidad se puede aplicar otra vez, tal como se hizo en la figura 9.

1.3.5. Mapas meteorológicos.

1.3.5.1. Isolíneas

Según la Real Academia Española (2001) el prefijo iso “significa igualdad o denota uniformidad o semejanza”. Por lo tanto, las isolíneas son líneas que unen puntos de igual valor. Dichos puntos provienen de mediciones y de interpolaciones de las mismas. En este sentido y hablando de variables meteorológicas, cada uno de estos puntos representa una estación meteorológica con una ubicación espacial exacta, en la que se pueden tener valores medios de algunas variables (Madrid & Ortiz, 2005). Sin embargo cada uno de estos datos no serían suficientes para trazar las isolíneas, por lo tanto se acude a la interpolación, debido a que es un proceso que nos permite determinar valores “valores no conocidos a partir de valores conocidos según lo dice (Barrera, 1999).

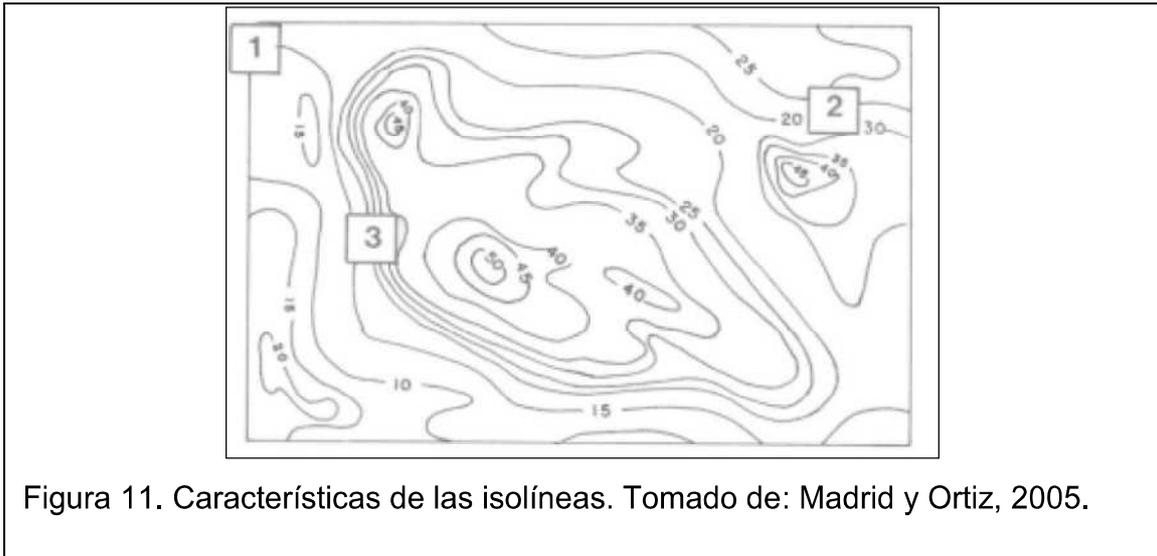
Las isolíneas muestran los umbrales (límites) que según Flórez (1997) son momentos de quiebre de un mismo fenómeno que modifica su comportamiento, bajo una dinámica de valores máximos y mínimos. Las isolíneas nos permiten establecer y representar estos umbrales.

Entre las isolíneas se encuentran zonas o áreas que están delimitando. Para este caso se tiene un mapa de áreas denominado mapa de isopletas.

Isopletas: Según (Monkhouse y Wilkinson, 1966) es un mapa cuantitativo de superficie.

1.3.5.2. Características de las isolíneas

Cualquier isolínea que se trate, posee las siguientes características (figura 11):



1. Todas las isolíneas se interceptan, aunque no se las muestren de manera completa en el mapa.
2. Las isolíneas representan un único valor, por lo tanto no es posible que se crucen.
3. La aproximación o separación entre las isolíneas, denota las características de la variación del valor de la variable en relación con la distancia. Cuando se acercan expresan un cambio del comportamiento del fenómeno y cuando se separan el cambio es gradual, más suave o lento (Madrid y Ortiz, 2005).

En base a esta última consideración, “el gradiente permite determinar cuál es el grado de variación del fenómeno, presentando una relación de cambio en función de aspectos tales como la distancia, el tiempo y la velocidad” (Madrid y Ortiz, 2005). Según Monkhouse (1978), un gradiente pronunciado implica una gran

diferencia entre isolíneas muy próximas, mientras que un gradiente débil implica solo una pequeña diferencia con isolíneas muy distantes.

1.3.5.3. Clasificación y aplicación de las isolíneas

Todas las isolíneas pretenden representar la variación espacial de un fenómeno, ya sea de carácter humano o físico. Algunas isolíneas se emplean para analizar las características, dinámica y evolución de fenómenos físicos; otras son empleadas para identificar las potencialidades del espacio y unas pocas dan cuenta de fenómenos de acción humana. Se puede establecer una clasificación de las isolíneas a partir del origen de sus datos, con lo que obtenemos dos grupos (Madrid y Ortiz, 2005). En la tabla 8 se presenta una clasificación de isolíneas, con base en varias fuentes:

Tabla 8. Clasificación de las isolíneas a partir de las sub-disciplinas geográficas que las emplean.

GEOGRAFÍA FÍSICA	Geomorfología Geología Topografía	Isohipsas – Isobasas Isobatas Isoclinas - Isotracónicas Isopacas Isogonas Isogeotermas
	Climatología Meteorología	Isoyetas – Isohietas Isotermas Isohelias Isobaras – Isobaras Termoisolíneas Isobrontías Isoquimas – Isoteras Isotalantósicas - Isotalantas Isalotermas Isocrimas Isocinéticas Isonefas Isanemonas Isanómalas Isoamplitud Isocasmas Isomera
	Hidrogeografía	Isolíneas de escorrentía superficial Isolíneas de caudales Isohalinas
	Biogeografía	Isoietas Isofitas
INTEGRACIÓN	Riesgos	Isolíneas de inundación Isosísmicas Isolíneas de contaminación
GEOGRAFÍA HUMANA	G. Población	Isodemas
	G. Urbana G. Rural	Isoprecios Isodapanas Isoforas
	G. Social	Isocronas Isolíneas de criminalidad

Fuente: Madrid y Ortiz (2005).

1.3.5.4. Isolíneas a partir del gradiente altitudinal

Para elaborar representaciones cartográficas considerando el gradiente altitudinal, se empleó la metodología utilizada por (Fries, Rollenbeck, Nauss, Peter, & Bendix, 2012), la cual supone la variante altitudinal como un factor que influye en su comportamiento.

Como primer paso se debe conocer si existe correlación entre la variable altura y cualquiera de las variables, por lo tanto se ajustan los valores a una función (lineal, exponencial, etc.). Normalmente se puede elaborar un gráfico con su respectiva función mediante el uso de software estadístico o Excel, así se determinan los valores de correlación, su gradiente (pendiente) y su valor de origen. A continuación se establece una altura determinada con el fin de calcular los valores que tendrían las estaciones a una misma altura, ver ecuación 23. Realizar esto permitió, mediante el uso del software ArcGIS 10.1, interpolar y multiplicar por su gradiente altitudinal y así mostrar sobre la base de un Modelo de Elevación Digital (DEM), el comportamiento de las variables en el área.

Valor determinado de la variable hidrometeorológica considerando el gradiente altitudinal

$$Var_{Det} = Var_{mensual} + (\Gamma * (Z_{Det} - Z_{estación})) \quad \text{(Ecuación 23)}$$

Donde

Var_{Det} = Valor determinado de la variable

$Var_{mensual}$ = Valor mensual de la variable

Γ = Pendiente o gradiente de la altura

Z_{Det} = Altura determinada

$Z_{estación}$ = Altura de la estación

1.4. Variables hidrometeorológicas que influyen en un cultivo

1.4.1. Precipitación

En términos generales es todas las formas de humedad que se origina en las nubes y caen al suelo. Es una parte del ciclo hidrológico donde se condensa el vapor de agua de la atmósfera formando gotas de agua lo suficientemente grandes para que la gravedad actué sobre ellas y las obligue a caer a la tierra. Se registran sus datos en mm (U.S. Department of Agriculture, 1990).

1.4.2. Temperatura

La variable utilizada para describir el estado de la atmósfera. Por ejemplo: la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una época y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. En invierno puede llegar a estar bajo los 0° C y en verano superar los 40° C. Adecuadamente, la temperatura es una magnitud relacionada con la velocidad del movimiento de las partículas que constituyen la materia. A mayor agitación, mayor será la temperatura. (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), 2004)

1.4.3. Humedad relativa

El aire que se encuentra en atmósfera es una mezcla de: aire seco y agua. La capacidad de la atmósfera para contener vapor de agua se relaciona con los conceptos de humedad absoluta, que es la cantidad de agua que se encuentra presente en el aire por unidad de masa de aire seco, y la humedad relativa es la razón entre la humedad absoluta y la cantidad máxima de agua que admite el aire por unidad de volumen. Se mide en tantos por ciento y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100% (Meruane & Garreaud, 2006).

1.4.4. Heliofanía y radiación solar

Se define como la permanencia de la acción directa de la radiación solar, por día o año sobre una parte de la Tierra. Solo se considera la radiación directa ya que la nubosidad genera que la radiación recibida por el instrumento sea radiación difusa

y que aunque es energía presente, ni su concentración ni su densidad son los suficientes como para que puedan ser registrados. La heliofanía tiene dimensiones de tiempo y se miden en horas o segundos también es frecuente el uso de la heliofanía relativa que es el cociente entre la heliofanía real y la máxima posible (Marwane, 2009).

1.4.5. Velocidad y Dirección del Viento

El viento es una variable que determina el movimiento del aire. El viento es generado debido a las diferencias de temperatura que existen al provocarse un calentamiento irregular de las diversas zonas de la Tierra y de la atmósfera. Las porciones de aire más caliente ascienden, y en su lugar aire circundante, más frío y, por tanto, más denso ocupa su lugar. Se denomina "viento" a la corriente de aire que se mueve horizontalmente, y para los movimientos de aire en sentido vertical se denomina "corriente de convección" (Nimbus Weather Services, 2011).

La dirección del viento depende de la disposición y desarrollo de los centros isobáricos; se mueve de los centros de alta presión hacia los de baja presión y su fuerza es mayor cuando mayor es el gradiente de presiones. En su movimiento, el viento se ve alterado por diversos factores tales como el relieve y la aceleración de Coriolis. En superficie, el viento viene definido por dos parámetros: la dirección en el plano horizontal y la velocidad (Nimbus Weather Services, 2001).

1.4.6. Evapotranspiración

Se entiende a la evapotranspiración como los procesos en donde el agua se pierde a través de la superficie del suelo (evaporación) y la que se pierde mediante la transpiración del cultivo.

1.4.6.1. Evaporación

Es el proceso por el cual el agua líquida se transforma en gaseosa (vapor de agua), para que esto suceda se necesita energía. La radiación solar directa, y en mucho menos grado, la temperatura ambiente del aire proporciona esta energía.

Mientras la evaporación sucede, el aire alrededor se satura lentamente, el proceso se ralentiza hasta detenerse completamente si el aire mojado no se transfiere a la atmósfera. El remplazo del aire mojado por aire más seco depende de la velocidad del viento.

Otros factores a considerar son el grado de cobertura del suelo (cultivo) y la cantidad de agua disponible en la superficie evaporante (FAO, 2006).

1.4.6.2. Transpiración

Consiste en la vaporización del agua que se encuentra en los tejidos de la planta y su consecuente remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua por medio de sus estomas. La vaporización se realiza en las hojas, en los espacios intercelulares, el intercambio con la atmósfera es controlado por la apertura estomática. Es un hecho que la mayor parte del agua absorbida por la planta se pierde por transpiración y solo una pequeña parte llega a formar parte de los tejidos vegetales.

Al igual que la evaporación, la radicación, la temperatura del aire, humedad, el contenido de agua del suelo son necesarios determinar. Además, la capacidad del suelo para conducir agua a las raíces, la salinidad del suelo y del agua son necesarias para determinar la tasa de transpiración (FAO, 2006).

1.4.6.3. Factores que afectan la evapotranspiración

A continuación se resumen varios factores que intervienen en el proceso según la FAO (2006), en su edición de evapotranspiración.

- **Variables climáticas:** Radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del aire.
- **Factores de cultivo:** Tipo del cultivo, variedad y etapa de desarrollo.
- **Manejo de condiciones ambientales:** Salinidad, baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros, ausencia de control de

enfermedades, mal manejo del suelo, puede limitar el desarrollo del cultivo y por ende reducir la evapotranspiración.

1.4.6.4. Evaporación del cultivo de referencia

La tasa de evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o), estudia la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independiente del tipo de cultivo y de las prácticas de manejo. Debido a que se presume abundante presencia de agua en la superficie de ET_o , los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET. Los factores que afectan a la ET_o son las variables climáticas. Por lo cual, la ET_o es también una variable climática que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Desde esta perspectiva, el método FAO Penman-Monteith recomienda como el único método de determinación de ET_o con parámetros climáticos (FAO, 2006).

Evapotranspiración FAO Penman-Monteith

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dónde:

ET_o = evapotranspiración de referencia ($mm \text{ día}^{-1}$)

R_n = radiación neta en la superficie de cultivo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

G = flujo del calor del suelo ($MJ \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

T = temperatura media del aire a 2 m. de altura ($^{\circ}C$)

u_2 = velocidad del viento a 2m. de altura ($m \text{ s}^{-1}$)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa \text{ }^{\circ}C^{-1}$)

Presión atmosférica (P)

Es la presión que ejerce la atmosfera terrestre. La evaporación en zonas altas ocurre en parte gracias a la baja presión atmosférica, la misma que se expresa con la constante psicrométrica.

Presión Atmosférica (kPa)

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0.065 z}{293} \right)^{5.26} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Dónde:

$z = \text{elevación sobre el nivel del mar (m)}$

Calor latente de vaporización (λ)

Expresa la energía requerida para cambiar una masa de unidad de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constantes. Ya que el valor varía muy poco dentro de rangos de temperatura normales, se emplea un valor constante.

$$\lambda = 2,45 \text{ MJ Kg}^{-1}$$

Constante Psicrométrica (γ) (kPa/°C)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Dónde:

$c_p = \text{calor específico a presión constante, } 1,013 \times 10^{-3} (\text{MJ Kg}^{-1} \text{°C}^{-1})$

$P = \text{presión atmosférica (kPa)}$

$\varepsilon = \text{cociente del peso molecular de vapor de agua – aire seco} = 0,622$

Temperatura del aire

La temperatura media del aire se utiliza en la ecuación 24. Para calcular la pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor (Δ) y de la influencia de la densidad media del aire (P_a) puesto que el efecto de las variaciones

de temperatura en estas variables climáticas es pequeña. La temperatura se expresa en °C pero para el cálculo se debe transformar a grados Kelvin (K).

Temperatura media del aire (°C)

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (\text{Ecuación 27})$$

Humedad del aire

Presión de vapor

La pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor (Δ), se utiliza en algunas ecuaciones para el cálculo de la ET_o con datos climáticos.

La presión real de vapor (e_a) es la presión que el vapor de agua que ejerce sobre el aire. Cuando el aire no se encuentra saturado, la (e_a) es más baja que la presión de vapor de saturación (e_s).

Presión media de vapor de saturación a la temperatura del aire (KPa)

$$e^0(T) = 0,611 \exp \left[\frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right] \quad (\text{Ecuación 28})$$

Dónde:

$e^0(T)$ = presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T (kPa)

T = temperatura del aire (°C)

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

Presión real de vapor derivada de la temperatura mínima (KPa)

$$e_a = e^0(T_{min}) = 0,611 \exp \left[\frac{17,27 T_{min}}{T_{min} + 237,3} \right] \quad (\text{Ecuación 29})$$

Presión de vapor de saturación (KPa)

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor (kPa/°C)

La pendiente se calcula usando la temperatura media calculada a partir de la ecuación 31.

$$\Delta = \frac{4098 * [0,6108 * \exp(\frac{17,27 * T_{media}}{T_{media} + 237,3})]}{(T_{media} + 237,3)^2} \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde

T = temperatura del aire (°C)

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

Radiación

Radiación extraterrestre para periodos mensuales ($MJ m^{-2} día^{-1}$)

Para cada mes del año y para diversas latitudes se puede deducir la radiación extraterrestre a partir de la constante solar, la declinación solar y la época de año:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (\text{Ecuación 32})$$

Dónde:

G_{sc} = constante solar = $0,082 MJ m^{-2} min^{-1}$

d_r = distancia relativa tierra – sol (Ecuación 32)

ω_s = ángulo de radiación a la puesta del sol (Ecuación) [rad]

φ = latitud (Ecuación) [rad]

δ = declinación solar (Ecuación) [rad]

La evaporación equivalente en $mm día^{-1}$ se obtiene multiplicando R_a por ($1/\lambda = 0,408$)

La distancia relativa inversa tierra – sol y la declinación solar están dadas por:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$\delta = 0,409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right) \quad (\text{Ecuación 34})$$

J es el número de día del año. Para cálculos mensuales, J en el día 15 del mes viene dado aproximadamente por $J = (30,4 * Mes - 15)$ (Anexo 1)

Ángulo de radiación a la puesta del sol (rad)

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan(\varphi)\tan(\delta)}{X^{0,5}}\right] \quad (\text{Ecuación 35})$$

Dónde:

$$X = 1 - [[\tan(\varphi)]^2[\tan(\delta)]^2] \text{ y } X = 0,00001 \text{ si } X \leq 0$$

Latitud (rad)

$$[\text{radianes}] = \frac{\pi}{180} [\text{grados decimales}] \quad (\text{Ecuación 36})$$

Duración máxima de la insolación (horas)

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (\text{Ecuación 37})$$

Donde ω_s es el ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol calculado con la ecuación 37.

Radiación solar o de onda corta ($MJm^{-2}día^{-1}$)

Se calcula a través de la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación.

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a \quad (\text{Ecuación 38})$$

Dónde:

$$n = \text{duración real de la insolación [horas]}$$

N = duración máxima posible de la insolación [horas]

$\frac{n}{N}$ = duración relativa de la insolación [-]

R_a = radiación extraterrestre [$MJ m^{-2} día^{-1}$]

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

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

La evaporación equivalente en $mm día^{-1}$ se obtiene multiplicando R_s por ($1/\lambda = 0,408$). Cuando no se han realizado calibraciones previas a la ecuación mencionada, se recomienda usar valores de $a_s = 0,25$ y $b_s = 0,5$. La duración real de la insolación diaria, n , se mide con un heliógrafo.

Radiación solar en un día despejado

La radiación en días despejados, $n=N$, puede ser calculada de la siguiente forma:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (\text{Ecuación 39})$$

Donde

z = elevación de la estación sobre el nivel del mar.

Radiación neta solar o de onda corta

Es resultante del equilibrio entre la ración solar entrante y la reflejada está dada por:

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s \quad (\text{Ecuación 40})$$

Donde

α = albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, es igual a 0,23

R_s = radiación solar entrante [$MJ m^{-2} día^{-1}$]

Radiación neta de onda larga

Esta relación se expresa cuantitativamente a través de la ley de Stefan-Boltzmann.

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (\text{Ecuación 41})$$

Donde,

$\sigma = \text{constante de Stefan - Boltzmann } [4,903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}]$

$T_{max} = \text{temperatura máxima absoluta [K]}$

$T_{min} = \text{temperatura mínima absoluta [K]}$

$e_a = \text{presión real de vapor [kPa]}$

$R_s = \text{radiación solar entrante [MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}]$

El término $(0,34 - 0,14\sqrt{e_a})$ expresa la corrección para la humedad del aire, mientras que la expresión $(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35)$ expresa el efecto de la nubosidad.

Radiación Neta

Es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (\text{Ecuación 42})$$

Cuando se presentan valores de radiación solar expresados en W/

Flujo del calor del suelo

Se asume que la capacidad calorífica constante del suelo de $2,1 \text{ MJ m}^{-3} \text{ °C}^{-1}$ y una profundidad media de suelo

$$G_{mes,i} = 0,14(T_{mes,i} - T_{mes,i-1}) \quad (\text{Ecuación 43})$$

Donde,

$T_{mes,i} = \text{temperatura media del aire en el mes } i \text{ [°C]}$

$T_{mes,i-1} = \text{temperatura media del aire en el mes } i - 1 \text{ [°C]}$

Velocidad del viento

El viento a diversa alturas sobre el suelo es diferente. La fricción superficial tiende a reducir su velocidad, es decir el viento aumenta con la altura. Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere la velocidad del viento media a 2m de la superficie, para lo cual se presenta la siguiente relación logarítmica:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,42)} \quad (\text{Ecuación 44})$$

Donde,

$u_2 =$ velocidad del viento a 2m de la superficie [$m s^{-1}$]

$u_z =$ velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [$m s^{-1}$]

$z =$ altura de medición sobre la superficie [m]

1.5. Balance hídrico del suelo

El balance del agua del suelo en el transcurso del año se puede obtener partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada. Conocer el balance hídrico permite estimar la falta y excesos de agua, y se aplica para las clasificaciones climáticas, definir las características hidrológicas de una zona y planificación hidráulica. Se aplicará el método directo (Thornthwaite), donde el agua en el suelo se pierde cada mes hasta agotar la reserva para cubrir las demandas de agua (evapotranspiración) (Almorox J. , 2010).

1.5.1. Precipitación (P) y evapotranspiración de referencia (ET)

Es un balance mensual de las entradas y salidas potenciales de agua del suelo. Permite clasificar entre los meses secos ($P - ET < 0$) y húmedos ($P - ET > 0$).

1.5.2. Reserva del suelo (R)

En un mes con altas precipitaciones o entradas ($P > ET$) el agua sobrante pasará a la reserva del suelo; y en meses con mayores salidas la reserva se reducirá.

Sin embargo el suelo tiene capacidad de retención y cuando alcanza el mayor punto de su capacidad, el agua escurrirá en superficie o profundidad.

Por lo cual se presenta el concepto de reserva máxima (mm) que el suelo es capaz de retener en su perfil (Almorox J. , 2010).

Como referencia climática se toma un valor de reserva máxima equivalente a 100 mm propuesto por Thornthwaite en 1948.

En el balance hídrico, la reserva del mes se calcula agregando los incrementos entre $(P - ET)$ cuando estos son positivos. Por lo tanto la reserva del mes i (en función del mes anterior $(i-1)$) será:

Reserva del suelo (mm)

$$R_i = \begin{cases} R_{i-1} + (P_i - ET_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{max} \\ R_{max} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{max} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i) \end{cases} \quad (\text{Ecuación 45})$$

La reserva nunca tendrá un valor negativo y el valor máximo nunca superará los 100 mm.

Es indispensable conocer el valor de la reserva del mes anterior por lo tanto para efectos de cálculo, se suele suponer que después del periodo seco la reserva del suelo es 0, es decir se empieza el cálculo a partir del primer mes húmedo y se asigna al mes anterior una reserva 0.

1.5.3. Variación de la reserva (VR) (mm)

Es la diferencia entre la reserva del mes que estamos realizando el cálculo y la reserva del mes anterior.

$$VR_i = R_i - R_{i-1} \quad (\text{Ecuación 46})$$

1.5.4. Evapotranspiración real (ETR) (mm)

La evapotranspiración real es la cantidad de agua que realmente se evapotranspira y así llegar a la ET de referencia o potencial. El agua disponible para evaporar será la que se precipite y la que existe como reserva del suelo.

En periodo húmedo: $ETR_i = ET_i$

En periodo seco: $ETR_i = P_i + |VR_i|$ (Ecuación 47)

1.5.5. Falta de agua (F) (mm)

Es la cantidad de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua para evapotranspirar.

$$F_i = ET_i - ETR_i \quad (\text{Ecuación 48})$$

1.5.6. Exceso de agua (Ex) (mm)

Es la cantidad de agua que excede de la reserva máxima y que se pierde por escorrentía superficial o profunda.

$$\begin{aligned} Ex_i &= [P_i - ET_i - VR_i] & \text{si } (P_i - ET_i) > 0 \\ Ex_i &= 0 & \text{si } (P_i - ET_i) \leq 0 \end{aligned} \quad (\text{Ecuación 49})$$

1.6. Calidad del agua lluvia

1.6.1. Contaminación de aguas lluvia

Las aguas lluvias que caen en las zonas urbanas actualmente representan la mayor de las fuentes de contaminación difusas a nivel global (Haster y James, 1994) y su aumento en importancia se lo puede evidenciar en los últimos años. En Estados Unidos según la Environmental Protection Agency (EPA) (1990) atribuye al agua lluvia como un recurso de contaminación difusa y de difícil control, que afecta mediante su escurrimiento a los demás cuerpos de agua que lo reciben, así como a otros recursos como el suelo.

Esta precipitación o lluvia puede contener elementos orgánicos, sólidos, nutrientes, metales y pesticidas. Varios elementos que contienen nitrógeno probablemente son importantes contribuidores de la contaminación de la escorrentía urbana (Marsalek, Maksimovic, Zeman, y Price, 1998).

Según Montt, (2000) tomado de (Bannerman, Legg y Greb, 1996) dice lo siguiente:

“compilaron información de programas de monitoreo de contaminación de las aguas lluvias urbanas realizados entre 1989 y 1994, en el estado de Wisconsin y concluyeron que las concentraciones de muchos contaminantes, incluyendo: plomo, zinc, cobre, plata, cadmio, hidrocarburos, sólidos suspendidos, cloruros, fósforo, DBO y bacterias fueron lo suficientemente altas para decir que la contaminación que aportan las aguas lluvias urbanas contribuye a la degradación de los cursos de agua. El depósito y acumulación de estos elementos en las zonas urbanas, que posteriormente se arrastran por las aguas lluvias, son el resultado del tráfico, deterioro del pavimento e infraestructura urbana, basura arrojada y desechos en general, los cuales dependen de las características de las urbanizaciones, comportamiento cultural de los habitantes de las ciudades, políticas de mantención, limpieza y otros aspectos que hacen difícil extrapolar directamente de unas ciudades a otras los valores registrados”.

1.6.2. Lavado Atmosférico

Los contaminantes liberados en la atmósfera no desaparecen, algunos permanecen en su forma original y otros se transforman mediante reacciones químicas, los cuales pueden o no ser considerados como contaminantes (Environmental Protection Agency (EPA), 2001). Según Montt (2000) tomado de Kelly (1994), la atmósfera es el lugar en la cual se suscitan algunos de los problemas más serios de contaminación difusa. La remoción de partículas desde la atmósfera hacia el suelo se lleva a cabo mediante sedimentación, conocido como deposición atmosférica seca; remoción por precipitación, ya sea líquida o nieve; y también por el impacto de las partículas arrastradas por el viento con la vegetación o las superficies rugosas. De igual manera la remoción de gases se realiza en los períodos de precipitación, la absorción en la superficie terrestre y la adsorción en partículas atmosféricas que posteriormente se remueven.

Los contaminantes pueden incorporarse en la precipitación, ya sea en el núcleo de las nubes como en el recorrido entre ellas y el suelo, esto último se conoce como lavado atmosférico. Según Valiron y Tabuchi (1992), este proceso de lavado hace que las aguas lluvias que precipitan sobre zonas urbanas lleguen al suelo con una cantidad no despreciable de contaminación. En forma general se estima que entre el 15 y el 25 % de los contaminantes encontrados en el escurrimiento urbano de las grandes ciudades son atribuibles al efecto de lavado atmosférico de las aguas lluvias.

A continuación (figura 12) se detallan los principales elementos contaminantes que se han encontrado en cuerpos de agua provenientes de deposición, precipitación de la atmósfera:

Physical State for Pollutants of Concern:	Hg ²⁺ mercuric ion
<i>Present in Precipitation</i>	Hg ⁰ elemental mercury
NO ₃ ⁻ nitrate	PCBs polychlorinated biphenyls
NH ₄ ⁺ ammonium ion	D/F dioxins/furans
Organic nitrogen compounds	POM polycyclic organic matter
SO ₄ ²⁻ sulfate	<i>Present in/on Particles</i>
HSO ₃ ⁻ bisulfite	NH ₄ ⁺ ammonium ion
SO ₃ ²⁻ sulfite	NO ₃ ⁻ nitrate
Atrazine, alachlor, cyanazine (herbicides) and degradation products	Organic nitrogen compounds
PCBs polychlorinated biphenyls	H ₂ SO ₄ sulfuric acid
<i>Present in Gaseous Phase</i>	SO ₄ ²⁻ sulfate
NO nitric oxide	Hg ²⁺ mercuric ion
NO ₂ nitrogen dioxide	HgCl ₂ mercuric chloride
NH ₃ ammonia	HgO mercuric oxide
N ₂ O ₅ dinitrogen pentoxide	Hg ⁰ elemental mercury
HNO ₃ nitric acid (vapor)	Pb lead
SO ₂ sulfur dioxide	Cd cadmium
POM polycyclic organic matter	PCBs polychlorinated biphenyls
PAH polycyclic aromatic hydrocarbons	D/F dioxins/furans
	POM polycyclic organic matter

Figura 12. Principales contaminantes encontrados en la deposición y precipitación atmosférica. Fuente: EPA(2010)

1.6.3. Calidad del agua para riego

Es importante definir ciertos parámetros para calificar las características físico - químicas del agua que se va a emplear. Cuando las sales que entran en solución con el suelo excede a la cantidad que puede ser removida por el agua de riego se presentan varios problemas con los cultivos implementados (García, 2012).

1.6.3.1. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego (TULAS)

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria expide en su libro VI en el anexo 1 los criterios de calidad de agua para riego y los valores máximos

permitidos y recomendados para considerar una fuente de agua como óptima para cultivar. Será una base para determinar qué elementos se estudiarán.

Tabla 9. Criterios de calidad admisible para aguas de uso agrícola

PARAMETRO	ESPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aluminio	Al	mg/l	5
Arsénico	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (Total)	B	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración Total de Carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro	CN-	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1
Hierro	Fe	mg/l	5
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05

Continuación de la tabla 9

Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6 a 9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3000
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coliformes totales	nmp/100 ml		1000
Huevos de parásito		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2

Fuente: Tomado del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (2003).

1.6.4. Niveles guía de la calidad de agua para riego

Los problemas que se relacionan con el uso del agua de riego son la salinidad, alcalinidad, infiltración del agua en el suelo, toxicidad de iones presentes en ella, combinaciones de los anteriores y efectos causados por sólidos en suspensión, metales pesados y corrosividad. Las tablas a continuación presentes, permiten identificar todos aquellos parámetros necesarios para estimar los posibles problemas que se puedan presentar (García, 2012).

Tabla 10. Determinaciones de laboratorio necesarias para evaluar la calidad de agua de riego. Adaptado de: (Ayers & Westcot, 1987).

PARAMETRO	SIMBOLO	UNIDAD	RANGO USUAL
Salinidad			
Conductividad eléctrica	Cea	dS/m	0 - 3

Continuación de la tabla 10

Total sólidos disueltos	TSD	mg/l	0 - 2000
Cationes y aniones			
Calcio	Ca(+2)	cmol/l	0 - 20
Magnesio	Mg(+2)	cmol/l	0 - 5
Sodio	Na(+)	cmol/l	0 - 40
Potasio	K(+)	cmol/l	0 - 0,2
Carbmatos	CO3(-2)	cmol/l	0 - 0,1
Bicarbonatos	HCO3 (-)	cmol/l	0 - 10
Cloruros	Cl (-)	cmol/l	0 - 30
Sulfatos	SO4(-2)	cmol/l	0 - 20
Nitratos	NO3 (-)	cmol/l	0 - 5
Misceláneos			
Boro	B	mg/l	0 - 2
Reacción	pH		6 - 8,5
Relación adsorción de sodio	RAS	(cmol/l)- 1/2	0 - 15

Fuente: (García, 2012)

Tabla 11. Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego (Adaptado de (Ayers & Westcot, 1987)).

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE	dS/m	<0,7	0,7 - 3,0	3	>3,0
SDT	mg/l	<450	450	2000	>2000
Infiltración (2):					

Continuación de la tabla 11

RAS= 0 - 3 y CE		0,7	0,7	0,2	<0,2
RAS= 3 - 6 y CE		1,2	1,2	0,3	<0,3
RAS= 6 - 12 y CE		1,9	1,9	0,5	<0,5
RAS= 12 - 20 y CE		2,9	2,9	1,3	<1,3
RAS= 20 - 40 y CE		5	5	2,9	<2,9
Toxicidad por ión específico					
Sodio (Na ⁺)(3):					
Irrigación superficial	RAS	< 3	3	9	>9
Cloruros (Cl ⁻) (4)					
Riego superficial	cmol/l	< 3	4	10	>10
Boro (B)	mg/l	<0,7	0,7	3	>3
Elementos traza					
Nitratos (N-NO ₃) (5)	mg/l	<5	5	30	>10
pH		6,5 - 8,4			

Nota: (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos. (2) Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas de los suelos causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CE y la relación de adsorción de sodio simultáneamente. Esto hace referencia al efecto floculante de las sales y al efecto disperso del sodio. A un valor de RAS dado, la velocidad de infiltración incrementa a medida que la salinidad del agua aumenta. (3) El Sodio tiene un efecto tóxico sobre muchas especies, además de su capacidad para deteriorar las propiedades físicas de los suelos. (4) No todas las plantas tienen la misma tolerancia hacia los cloruros. (5) N-NO₃ se refiere al nitrógeno reportado en términos de N elemental.

1.6.5. Parámetros presentes en el agua potable de la ciudad.

En base al resumen de la calidad de agua en las redes de distribución realizada para el periodo enero - noviembre 2013, elaborado por la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS, se utilizó como referente para comparar con las especificaciones técnicas para uso en cultivo (riego). (EPMAPS, 2013)

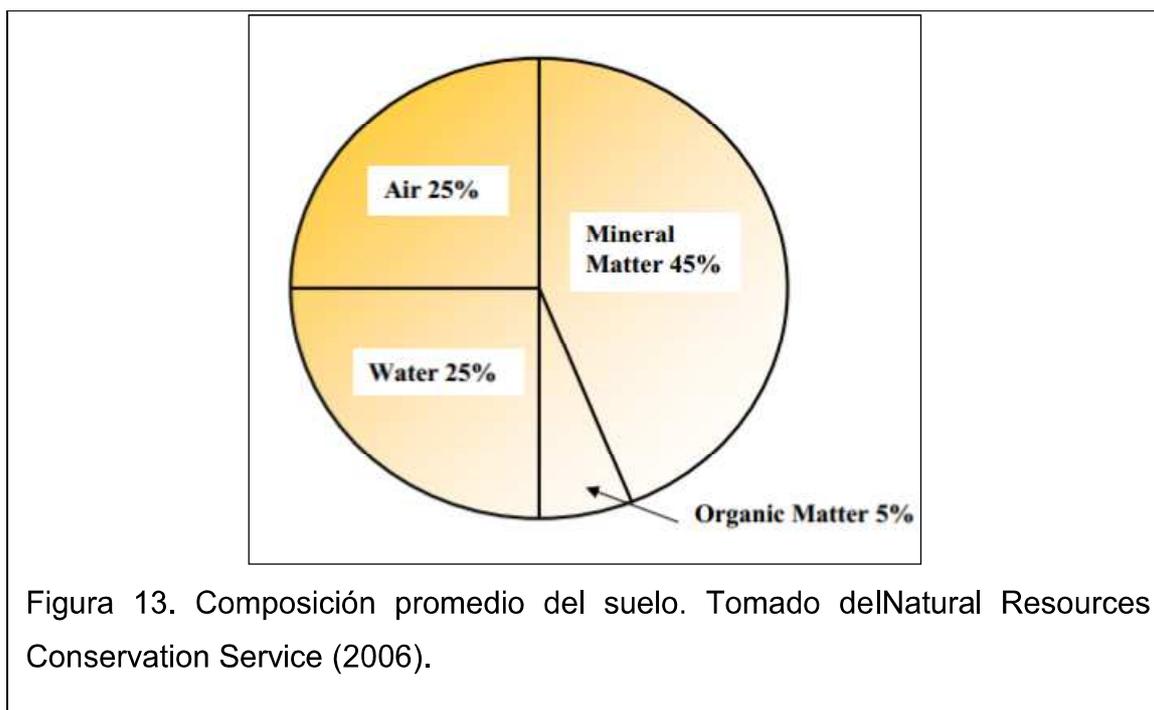
1.7. Suelo y sustrato

1.7.1. Suelo

Existen varias definiciones para el suelo dependiendo de dónde provenga la definición (US Department of Agriculture, 2013):

- Definición Geológica: Suelo de la superficie de la Tierra, que se distingue de la roca sólida. (Apoyo a la vida de las plantas no es necesario).
- Definición Tradicional: Es el material que nutre y soporta el crecimiento de las plantas, (incluye rocas, agua, hielo e incluso aire – todos estos son capaces de soportar vida).
- Definición por los componentes: Es la mezcla de material mineral, materia orgánica, agua y aire. (Ejemplo: Suelo franco = 45% materia mineral, 5 % materia orgánica, 25% agua y 25% aire). (Figura13).
- Definición taxonómica de los suelos: Colección de cuerpos naturales de la superficie de la tierra, en lugares modificados e incluso hechos por el hombre o por materiales térreos, contiene materia orgánica viviente y soporta o es capaz de soportar plantas en la intemperie. El límite superficial es el aire o agua superficial. Sus márgenes dependen de la profundidad del agua o de las barreras formadas por las rocas o hielo. Su límite inferior o de la actividad biológica, que generalmente coincide con la profundidad de las raíces de plantas perenes nativas, la profundidad en la que el suelo a la intemperie ha sido eficaz, o ambos (Burés, 2002).

- Como una porción del paisaje: Colección de cuerpos naturales que ocupan porciones de superficie de tierra que soportan plantas y que tiene propiedades para integrar los efectos del clima y de la materia viviente, actuando sobre el material parental, condicionado por el relieve, durante periodos de tiempo.



Una vez que se conocen los significados de suelo, se promueve a establecer qué tipos de suelo son los que se pueden encontrar dentro del Distrito Metropolitano de Quito, estos de acuerdo al Mapa General de Suelos del Ecuador (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1986) (figura 14), son: molisoles, entisoles e inceptisoles. En la tabla 12 se puede identificar estos y sus clasificaciones respectivas.

Tabla 12. Clasificación de los suelos que se encuentran en la ciudad de Quito.

SUELOS EN LA CIUDAD DE QUITO								
Clasificación de los Suelos			Material de Origen	Clima Zonas de Humedad y Temperatura	Fisiografía y Relieve	Características de los Suelos	Simbología	Ubicación
Orden	Suborden	Gran Grupo						
INCEPTISUELOS: Suelos minerales con un incipiente desarrollo de horizontes pedogenéticos (uno o más horizontes de alteración o concentración); de superficies geomórficas jóvenes. Representan una etapa subsiguiente de evolución en relación con los Entisoles.	ANDEPTS: Originados de cenizas volcánicas; apreciable contenido de alúmina (arcillas amorfas) o alto material piroclástico vítreo; baja densidad aparente < 0,85 g/cc; alta capacidad de fijación de fósforo.	VITRANDEPTS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente, gruesa y permeable	Seco-Húmedo a seco / Frio a templado	Generalmente relieves casi planos u ondulados de la sierra alta, vertientes y partes bajas del centro y norte	Pardo oscuros; arenosos; con alto contenido de vidrio volcánico; baja retención de humedad (<20%); materia orgánica en el perfil (>1%); pH ligeramente ácido a neutro.	lj	Norte
		EUTRANDEPTS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente suave, permeable y/o ceniza reciente sobre materiales diversos antiguos y/o recientes.	Húmedo a húmedo - seco / Templado a cálido	Relieves ondulados a socavados de las vertientes andinas norte y centro; ondulaciones suaves de llanuras aluviales costeras	Franco o limosos con arena muy fina; profundos; pH ligeramente ácido a neutro; saturados en bases; ricos en materia orgánica en el perfil; negros o pardos (zonas frías o templadas), pardo rojizo (zonas cálidas); buena fertilidad.	ld4	Sur
ENTISUELOS: Suelos con poca o nula evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos. Dominio de material mineral primario no consolidado.	PSAMMETS: Materiales arenosos.	USTIPSAMMETS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente, gruesa y permeable.	Seco/ Templado	Relieves planos a ondulados de vertientes y partes bajas centro y norte.	Arenosos, profundos; materia orgánica <1% en todo el perfil. A veces con CaCO ₃ ; pH neutro a ligeramente alcalino; pardo claros.	Ej	Norte
MOLLISUELOS: Suelos minerales con superficie muy oscura, de gran espesor y rica en C.O. con presencia de algunos horizontes de mayor desarrollo pedogenético; ricos en bases; de alta fertilidad	UDOLLS: No permanecen secos ni siquiera 90 días al año o 60 días acumulados.	DURIDOLLS	Proyecciones volcánicas; ceniza antigua dura y cementada (cangahua)	Húmedo / Frio a templado	Relieves fuertemente ondulados a socavados de las vertientes norte y centro.	Duripán (cangahua) a menos de 1 m, de profundidad; negros a pardos oscuros; arcilloso arenoso; pH ligeramente ácido a neutro.	Mc1	Norte, centro.
		HAPLUDOLLS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente, suave y permeable			Negros; profundos; arenosos finos con limo o limosos con arena; incremento de arcilla en profundidad. Sin horizonte argílico pH ligeramente ácido a neutro.	Mh1	Norte, centro.
		ARGIUDOLLS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente, suave y permeable	Húmedo / Templado	Relieves ondulados a socavados de las vertientes centro y norte.	Con horizonte argílico entre 50 y 100 cm; negros; arcillo arenoso a arcillosos; a veces sobre cangahua a mas de 1 m; pH ligeramente ácido.	Mm1	Sur
		HAPLUSTOLLS	Proyecciones volcánicas: ceniza reciente, fina y permeable	Seco / Templado	Relieves ondulados a colinados de las vertientes y partes bajas norte y centro.	Pardos; profundos; arenosos finos con limo o limosos con arena e incremento de arcilla en profundidad. Sin horizonte argílico pH ligeramente ácido a neutro.	Mh2	Norte

Nota: Mediante el uso del mapa general de suelos del Ecuador se consideraron exponer aquellos que se encuentran dentro y los alrededores de la ciudad de Quito. Adaptado de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (1986).

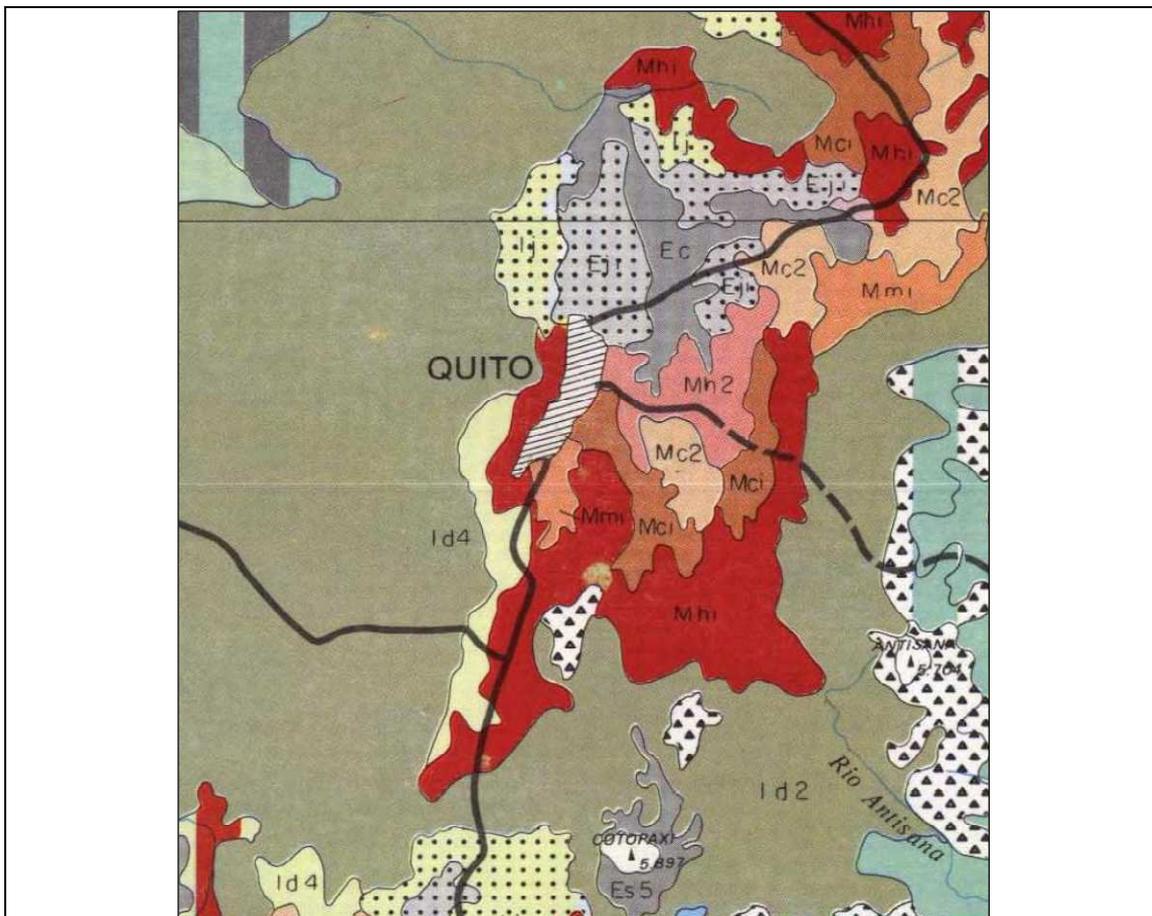


Figura 14. Mapa General de Suelos de Quito y sus alrededores. Tomado de la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (1986)

El orden de suelo que se toma como referencia para el estudio es el Molisol (tabla 12). Las propiedades y características empleadas en el estudio se derivan de valores experimentales y de estudios previos.

1.7.2. Sustrato

La palabra sustrato, al igual que el suelo posee varias definiciones. Burés (2002) manifiesta que son aquellos materiales distintos de los suelos naturales que se utilizan para el cultivo de plantas. Esta particularidad de ser diferentes del suelo

viene determinada por que se utiliza para el cultivo “contenedores”, y contenedor es considerado un recipiente que tenga altura limitada.

Abad, Noguera y Carrión (2004) por otra parte mencionan que es todo material sólido distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta y que este puede intervenir o no en la nutrición vegetal”.

Por otro lado, Röber (2000) dice que un sustrato hortícola “es la tierra para las plantas, como las mezclas a base de turbas y otros materiales, que sirven de ambiente para las raíces.” Por su parte Kämpf, Takane, y Vital de Siqueira (2006) definen como sustrato para plantas “al medio poroso donde se desarrollan las raíces, relacionadas con el cultivo en recipientes fuera del suelo in situ”.

En resumen se puede decir que un sustrato para el cultivo es aquel material que debe proporcionar sostén y un ambiente apropiado para las raíces, en la cual se encuentren presentes cantidades necesarias de aire y agua para un desarrollo ideal de las mismas, y en algunos casos también puede proveer nutrientes. Estas condiciones pueden proporcionar un solo material o en combinación con otros, los cuales deberán ser colocados en un contenedor (figura 15).



Figura 15. Sustrato utilizado en cultivo con contenedores. Tomado de (CocoPot, 2013)

1.7.3. Preparación de sustrato

Es un proceso obligado si se dificulta el encontrar materiales que posean las características adecuadas para el cultivo. Para el cultivo en macetas o contenedores se requiere que el sustrato tenga una cierta capacidad tampón tanto para la nutrición como de la retención de agua, siendo conveniente que los sustratos posean una capacidad elevada de intercambio catiónico y una elevada retención de agua. Además estos sustratos deberán ser estables, fáciles de utilizar, deberá corregirse sus deficiencias y aportar un abonado base para que esté apto para el cultivo. Cabe recalcar que estos sustratos deben estar libres de patógenos, insectos y semillas de mala hierba (Burés, 2001).

A continuación se presenta una lista de varios materiales con sus respectivas propiedades que pueden ser considerados para utilizar en la preparación del sustrato.

Tabla 13. Propiedades físicas y químicas de varios sustratos.

	Densidad aparente	Porosidad	Aireación	Retención agua	pH	CIC	Estabilidad
Turba rubia	0,09	alta	buena	buena	2,5 - 7	>20	limitada
Turba negra	0,2 - 0,5	alta	buena a baja	buena	4 - 7	>20	limitada
Corteza de pino	0,2 - 0,4	alta	alta	baja	4 - 5	>20	limitada
Virutas de madera	0,08 - 0,11	alta	alta	buena	4,5	<20	alta
Orujo de uva (1)	0,2 - 0,3	alta	buena	alta	7,4	-	limitada
Fibra de coco	0,03 - 0,09	alta	alta	alta	4,9 - 6,1	> 20	alta
Cascarilla de arroz	0,09	alta	alta	baja	5,2	< 20	alta
Arena gruesa	1,5 - 1,8	alta	alta	baja	-	<20	alta
Puzolanas	0,8 - 1,3	alta	alta	baja	6,5	<20	alta
Rocas volcánicas	0,7 - 1,3	buena a alta	buena	buena(2)	7	>20	alta
Attapulgita y sepiolita	0,60	alta	buena	baja	7,7	<20	alta
Perlita	0,08 - 0,12	alta	alta	buena	7 - 7,5	<20	baja
Lana de roca	0,07 - 0,09	alta	buena	alta	7	<20	alta
Arcilla expandida	0,75	alta	alta	buena	5 - 7	<20	alta
Vermiculita	0,09 - 0,14	alta	buena	buena	7	>20	baja
Estériles de carbón	1,17 - 1,54	buena	buena	baja	6,3 - 7	<20	alta
Escorias de alto horno	0,8	alta	alta	baja	10	>20	alta
Poliuretano	0,07	alta	alta	baja	-	<20	alta

(1) de 2 años
(2) parcialmente no disponible

Nota: En el listado se resumen algunas propiedades físicas y químicas. Fuente: (Martínez y Roca, 2011)

Para la preparación del sustrato se deberá tener en cuenta lo siguiente:

Estabilización de la materia orgánica: Generalmente se lo consigue a través del compostaje, la cual proporcionará compuestos estables desde el punto de vista químico y se obtiene una configuración física del sustrato no variable a mediano plazo (Burés, 2001).

Mezcla de materiales: Estos materiales pueden poseer diversas propiedades en función de una distribución granulométrica, si añadimos la cantidad de propiedades que satisfacen condiciones de cultivo específicas, elaborar sustratos resulta un problema difícil debido a la enorme cantidad de variables en juego. Pero para hacerlo se parte de una serie de materiales conocidos, se mezclan en distintas proporciones y se analizan los sustratos resultantes, seleccionando aquellos que tienen las características más adecuadas (Burés, 2001).

Corrección de las propiedades físicas y químicas (Burés, 2001):

- a) Mejorar la retención de agua y mojabilidad: Pueden utilizarse diversos productos entre ellos los hidrogeles o la urea-formaldehído, que retiene agua entre sus redes moleculares, y los agentes tenso activos que aumentan la mojabilidad al bajar la tensión superficial del agua.
- b) Corrección del pH: La corrección del pH se lo puede realizar mediante la adición de enmiendas escalantes para elevar el pH de los sustratos ácidos o de enmiendas de azufre para bajar el pH de los sustratos básicos.
- c) Corrección de salinidad: Cuando existe una excesiva cantidad de sales esto puede presentar problemas en el cultivo, debido a la toxicidad de algunos elementos químicos que se hallen en cantidades excesivas, o bien a causa del aumento del potencial osmótico que provoca una mayor dificultad para absorber el agua. Para una corrección se debe hacer una dilución o lavado.
- d) Corrección de la nutrición: La cantidad de nutrientes a añadir dependerá de la fertilidad del sustrato, su capacidad de intercambio catiónico, el grado de

descomposición de la materia orgánica, de la especie a cultivar y de las condiciones ambientales del cultivo.

Preparación del sustrato (Bunt, 1988):

Los materiales a ocupar deben estar preparados y ser estables. Sin embargo la mezcla de varios materiales estables especialmente orgánicos estos reanuda el proceso de descomposición. Por ejemplo: las turbas cuando se incorporan, en presencia de oxígeno y agua se descomponen; la adición de abonos de liberación controlada durante el tiempo de almacenaje se acumulan en el sustrato, aumentando la salinidad; el pH también puede aumentar debido a la acción de los abonos. Por tal motivo es necesario no almacenar los materiales preparados sino consumirlos inmediatamente o a cortos plazo de tiempo.

La mezcla puede realizarse mediante diversos sistemas que permitan la mezcla homogénea (palas cargadoras, tolvas o tambores rotatorios). Los abonos deben incorporarse durante los procesos de mezclado, al igual que los agentes tenso activos e hidrogeles. Luego del mezclado el sustrato debe incorporarse el contenido de humedad correcto para su utilización inmediata (40-60% en peso según el material).

La corrección del pH y la salinidad o el abonado de fondo es preferible realizarlos sobre la mezcla y no sobre los materiales originales, puesto que su combinación puede modificar estas propiedades.

Selección de sustratos:

Las características generales de selección general son, además de los condicionantes económicos:

- Que no sea tóxico para las personas.
- Que no sea tóxico para las plantas.

- Que esté exento de semillas, patógenos, insectos, nematodos, metales pesados, vidrios, hierros, plásticos.
- Fácilmente manipulable.
- Homogéneo.
- Respetuoso con el ambiente.

Los criterios particulares del cultivo con respecto a las características de los sustratos se citan a continuación:

a) Duración del cultivo: Se debe tomar en cuenta:

- Degradación física de los materiales.
- Degradación de la materia orgánica (humificación y mineralización).
- Compactación.

b) Cultivo protegido o exterior: Las principales características son:

- Capacidad de retención de agua: Debe ser mayor cuando la evapotranspiración sea mayor.
- Densidad: En exterior los cultivos sometidos al viento deberán utilizar sustratos más pesados que eviten que los contenedores se vuelquen.

c) Tipo de abono y sistema de abonado:

- Salinidad y contenido de nutrientes: El contenido inicial de sales será determinante en cuanto al abonado de fondo y cobertera a aplicar y viceversa.
- CIC: Si la fertilidad se realizará cada cierto tiempo es necesario utilizar un sustrato con elevada capacidad de intercambio catiónico que mantenga una reserva de nutrientes.

d) Calidad de agua de riego y tipo de riego: Se debe tener en cuenta los siguiente:

- Salinidad: Si el agua posee una elevado contenido de sales, es preferible no utilizar sustratos de conductividad eléctrica elevada. Si el agua que se

utilizará es salina, el sustrato deberá mantener tensiones bajas de columna agua para facilitar la absorción por las raíces, por lo que interesaría sustratos con elevada retención de agua fácilmente disponible (AFD), así como elevada aireación.

- Capacidad de retención de agua: Cuando el riego es aplicado en intervalos de tiempo espaciados es necesario que el sustrato tenga una elevada capacidad de retención de agua.
- Capacidad de aireación: Si el riego es frecuente como suele ocurrir en zonas de elevada evapotranspiración, será necesario que el sustrato tenga una elevada capacidad de aireación.
- Conductividad hidráulica: Cuando se riega con riegos abundantes es necesario que el sustrato sea capaz de absorber el agua aplicada en el riego en poco tiempo y que por lo tanto deberá tener una permeabilidad adecuada.

e) Contenedor (volumen y altura):

- Curva de liberación de agua: La capacidad de contenedor depende de la altura del contenedor y el contenido total de agua depende del volumen de sustrato; por lo cual se deberá utilizar un sustrato que tenga una curva de liberación de agua tal que permita a capacidad de contenedor exista suficiente agua disponible para las plantas.

f) Especie vegetal: Sebe tomar en cuenta lo siguiente:

- pH: Las plantas se desarrollan mejor en un rango de pH determinado.
- Conductividad eléctrica (o presión osmótica): Las plantas toleran mayor o menor presión en función de su sensibilidad.
- Contenido de agua y nutrientes: A mayor tamaño de la planta, mayores serán las necesidades de agua y nutrientes.
- Capacidad de aireación: Cuando se cultiva especies sensibles a la asfixia, el sustrato deberá tener mayor capacidad de aireación.

1.8. Diseño de experimentos

Es una metodología estadística destinada a la planificación y análisis de un experimento, la cual debe cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Debe comprobar la o las hipótesis objeto de estudio, evitando ser influenciado por las variables de ruido, como errores de medida desproporcionados.
- Debe revelar cualquier casusa importante de variación, aunque no hay sido considerada como hipótesis.
- Debe mantener los costos de experimentación a un nivel razonable, en comparación con el problema en estudio.
- Debe tener un alto grado de seguridad en las respuestas.
- El experimento debe relacionarse con las variables a ser estudiadas.

1.8.1. Diseño de bloques completamente al azar

Cuando se necesita comparar ciertos parámetros o analizar el efecto de un factor, se desea que las posibles diferencias se deban a un factor de interés y no a otros que no se consideran, pero cuando esto no ocurre y existen otros factores que no se pueden controlar para hacer la comparación, las conclusiones podrían ser afectadas (Gutierrez y De la Vara, 2008).

1.8.2. Factores de bloque

Los factores extra al factor de interés que se añaden de manera explícita en un experimento se los conoce como factores de bloque. Estos factores entran al estudio en un nivel de importancia secundaria con respecto al factor de interés.

El diseño de bloques completamente al azar (DBCA) considera tres fuentes de variabilidad: el factor tratamientos, el factor bloque y el error aleatorio (Gutierrez & De la Vara, 2008).

1.8.3. Modelo estadístico

El modelo está dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}; \begin{cases} i = 1, 2, \dots, k \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases} \text{(Ecuación 50)}$$

Donde,

Y_{ij} = es la medición que corresponde al tratamiento i y al bloque j , μ es la media global poblacional; τ_i es el efecto debido al tratamiento i , γ_j es el efecto debido al bloque j , y ε_{ij} es el error aleatorio atribuible a la medición Y_{ij} .

1.8.4. Hipótesis

Es la misma que para todos los ejercicios comparativos y está dada por:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu$$

$$H_A : \mu_i \neq \mu_j \text{ para algún } i \neq j \quad \text{(Ecuación 51)}$$

También se la puede expresar como

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_k = 0$$

$$H_A : \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i \quad \text{(Ecuación 52)}$$

Para cualquiera de estas hipótesis el fin es comprobar que la respuesta media poblacional lograda con cada tratamiento es la misma para los k tratamientos y por lo tanto cada respuesta media μ_i es igual a la media global poblacional, μ .

1.8.5. Análisis de la varianza

Se prueba con un análisis de varianza dos criterios de clasificación, ya que existen dos aspectos de variabilidad: los factores de tratamiento y los de bloque. En la tabla 18 se especifica que valores se deben calcular para analizarlos.

Notación de puntos: Es utilizada esta nomenclatura para representar sumas y medias que se obtienen a partir de los datos experimentales (ecuación 53).

$n_i = \text{numero de datos en cada tratamiento}$

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^b Y_{ij} = \text{Total por tratamiento.}$$

$$Y_{.j} = \sum_{i=1}^k Y_{ij} = \text{Total por bloque}$$

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^b Y_{ij} = \text{Total global}$$

$$N = \sum_{i=1}^b n_i = \text{Total de mediciones}$$

$$\bar{Y}_{..} = \frac{Y_{..}}{N} = \text{media global} \quad (\text{Ecuación 53})$$

A partir del cálculo de las sumas y medias, los valores serán utilizados en las ecuaciones para el cálculo de las sumas de los cuadrados (ecuación 54).

$$SC_T = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_{i.}^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N}$$

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} - SC_B \quad (\text{Ecuación 54})$$

Luego del cálculo de las sumas de los cuadrados se puede completar la tabla ANOVA.

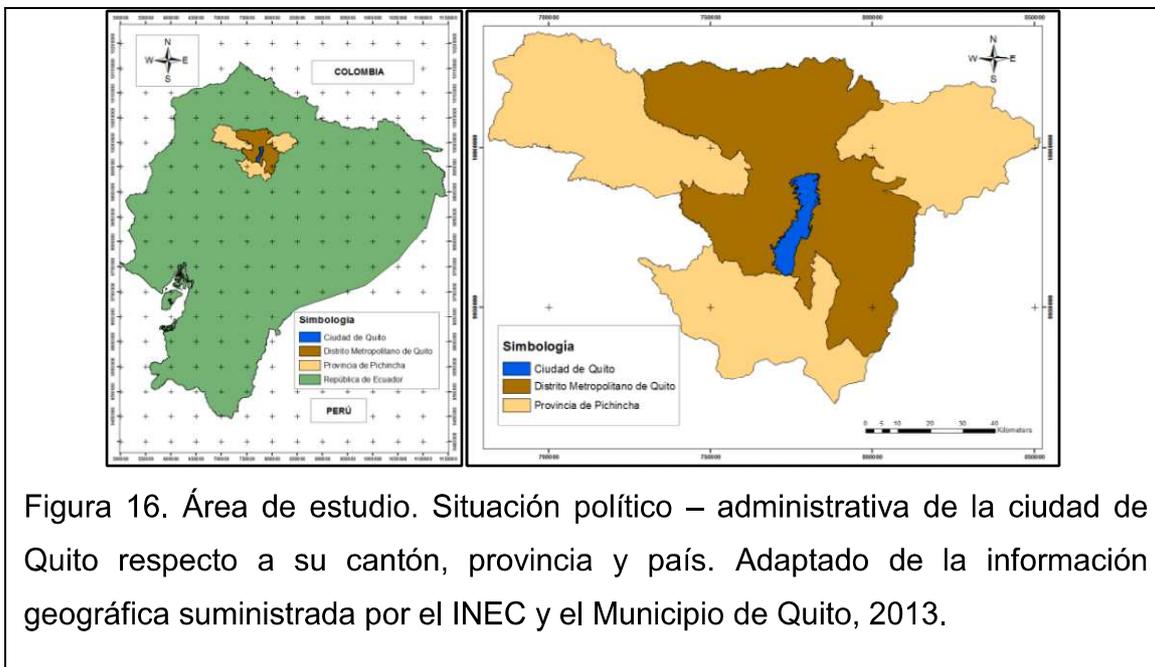
Tabla 14. ANOVA para un diseño en bloques completos al azar.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	F ₀	Valor - p
Tratamientos	SC_{TRAT}	$k - 1$	$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$	$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Bloques	SC_B	$b - 1$	$CM_B = \frac{SC_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{CM_B}{CM_E}$	$P(F > F_0)$
Error	SC_E	$(N - 1) - (k - 1) - (b - 1)$	$CM_E = \frac{SC_E}{Gl\ error}$		
Total	SC_T	$N - 1$			

2. Capítulo II. Estudio de las variables hidrometeorológicas, disponibilidad y calidad de agua lluvia, sustratos y selección de plantas

2.1. Ubicación geográfica de la zona de estudio

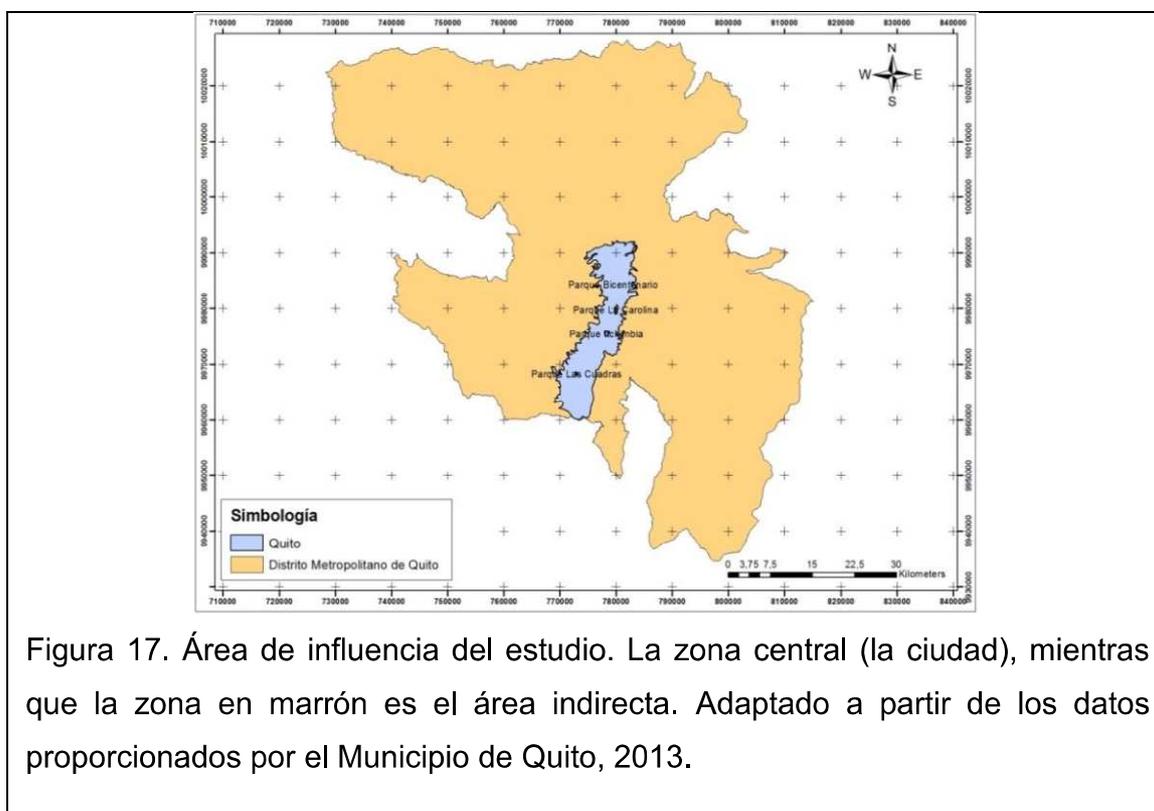
La ciudad de Quito es la capital de la República de Ecuador. Se localiza en la zona central del Distrito Metropolitano de Quito y de la provincia de Pichincha, y respecto al país se ubica en la zona centro-norte (figura 16). Su forma alargada se debe a que se encuentra emplazada en un valle longitudinal de la cordillera de Los Andes a una altura aproximada de 2800 m.s.n.m. Según datos del último censo de población y vivienda (INEC, 2010), su población asciende a 1'619.146 habitantes en una superficie de 372,39 km², es decir son 4347,98hab/km².



La ciudad en la actualidad ha sufrido un proceso de expansión y desarrollo, lo que ha difuminado sus límites con los poblados periféricos. Para delimitar el área de estudio se consideró la zonificación urbana, es decir la ciudad.

2.1.1. Área de influencia.

Se determinaron dos áreas de influencia, directa e indirecta. La directa es la zona urbana objeto del estudio, es decir la ciudad; la indirecta está relacionada con la ubicación de las estaciones meteorológicas y climáticas, y su zona de influencia, que se encuentran en las periferias de la ciudad y fue determinada según la ubicación de las estaciones que se emplearon, por lo tanto no posee una distancia uniforme, es más se posee un área de influencia indirecta para cada uno de los parámetros.



2.2. Estructura de datos considerada

Se emplearon los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), la Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito y su Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (REMMAQ). Los datos corresponden a la precipitación media, temperatura media, temperatura máxima y mínima, heliofanía, velocidad y dirección del viento.

Se categorizaron las estaciones y sus registros entre principales y de apoyo. Para las estaciones principales se consideró un período de trabajo de 25 años, desde el año 1984 hasta el año 2009.

Para determinar si una estación puede apoyar con sus datos al análisis, se consideró que estas al menos cuenten con 5 registros de periodos anuales completos y consecutivos, sin importar su lapso de tiempo.

Para cada uno de los registros de las estaciones empleados en el estudio y que pertenecen al INAMHI, el INAMHI realizó una homogenización y relleno estadístico, estas metodologías están descritas con detalle en los incisos 1.3.2, 1.3.3. Por lo cual no se evidencia un trabajo del autor en este aspecto, sin embargo, se considera conveniente su explicación y el origen deseado de los datos.

2.2.1. Precipitación promedio

Se consideró para el estudio 26 estaciones a nivel del suelo debido a que el período de tiempo de las estaciones ubicadas en terrazas es en general corto y requieren estaciones de apoyo para interpolar datos y conseguir datos fiables, 7 ubicadas en terrazas de edificios, de las cuales a nivel del suelo 13 son principales y 13 de apoyo; mientras que las estaciones ubicadas en las terrazas fueron todas de apoyo es decir las 7 estaciones. En la tabla 15 se puede observar el código, su ubicación geo-referenciada, su altura en msnm y en la figura 19 se puede evidenciar su distribución espacial:

Tabla 15. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la precipitación promedio.

Id	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M358	CALACALI	776854	9999880	2810	33	Principal
2	M361	NONO	769748	9992833	2710	42	Principal
3	M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	785464	9999105	2430	21	Apoyo
4	M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060	22	Apoyo
5	M341	GUAYLLABAMBA	795832	9993791	2150	24	Apoyo
6	M343	EL QUINCHE	801004	9986991	2605	41	Principal
7	M345	CALDERON	786815	9989089	2690	51	Principal
8	M347	PUEMBO	794333	9980821	2460	32	Principal
9	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	29	Principal
10	M114	TUMBACO	788222	9976295	2350	41	Principal
11	M572	CUMBAYA	786767	9978766	2370	16	Apoyo
12	M055	DAC-LABRADOR	779273	9984243	2811	52	Principal
13	M342	COTOCOLLAO	778807	9987139	2870	23	Apoyo
14	M357	CANAL 10	775467	9981398	3780	32	Principal
15	M913	HDA.MI CIELO(PV18)	777192	9981653	3173	5	Apoyo
16	M356	CANAL 4 TV.	776130	9981424	3500	10	Apoyo
17	M606	QUITO-U.CENTRAL	777645	9977792	2870	10	Apoyo
18	M054	QUITO-OBSERVATORIO	777903	9976198	2820	25	Apoyo
19	M335	LA CHORRERA	775086	9977140	3165	29	Apoyo
20	M354	SAN JUAN-CHILLOGALLO	764350	9968291	3440	49	Principal
21	M118	INIAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	777651	9959418	2650	15	Apoyo
22	M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520	21	Apoyo
23	M116	CHIRIBOGA	746616	9976441	1780	36	Principal
24	M352	SANGOLQUI	785151	9962637	2480	12	Apoyo
25	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	48	Principal
26	M024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	779647	9980274	2789	33	Principal
27	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrace)
28	CAR	CARAPUNGO	784112	9988625	2660	6	Apoyo (terrace)
29	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrace)

2.2.2. Temperatura media

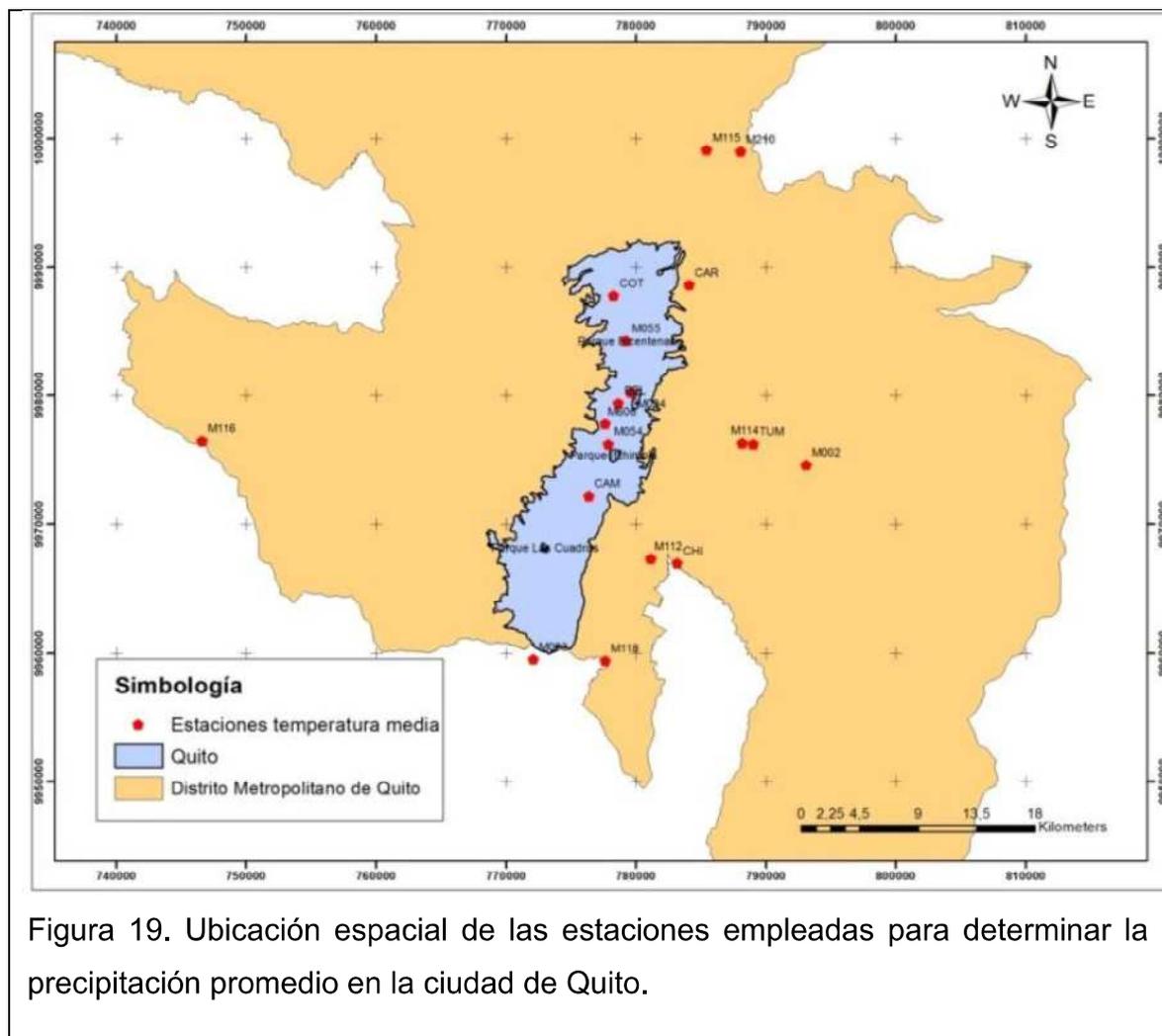
Se consideró para el estudio 10 estaciones a nivel del suelo y 6 ubicadas en terrazas de edificios, de las cuales a nivel del suelo 3 fueron principales y 7 de apoyo; mientras las estaciones ubicadas en las terrazas fueron todas de apoyo es decir las 6 estaciones. En la tabla 16 se puede observar el código, su ubicación geo referenciada, su altura en msnm y en la figura 20 se puede evidenciar su distribución espacial en el área de influencia:

Tabla 16. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la precipitación promedio.

Id	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	785464	9999105	2430	20	Apoyo
2	M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060	15	Apoyo
3	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	30	Principal
4	M114	TUMBACO	788222	9976295	2350	27	Apoyo
5	M055	QUITO AEROPUERTO-DAC	779273	9984243	2811	49	Principal
6	M606	QUITO-U.CENTRAL	777645	9977792	2870	10	Apoyo
7	M054	QUITO-OBSERVATORIO	777903	9976198	2820	26	Apoyo
8	M118	INIAP-SUPLEMENTARIA PORCINOS	777651	9959418	2650	15	Apoyo
9	M024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	779647	9980274	2789	24	Apoyo
10	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	31	Principal
11	M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520	33	Principal
12	M116	CHIRIBOGA	746616	9976441	1780	20	Apoyo
12	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrazza)
13	CAR	CARAPUNGO	784112	9988625	2660	6	Apoyo (terrazza)
14	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrazza)

Continuación de la tabla 16

15	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	6	Apoyo (terrazza)
16	TUM	TUMBACO	789050	9976217	2331	6	Apoyo (terrazza)
17	CHI	LOS CHILLOS	783187	9967008	2453	6	Apoyo (terrazza)

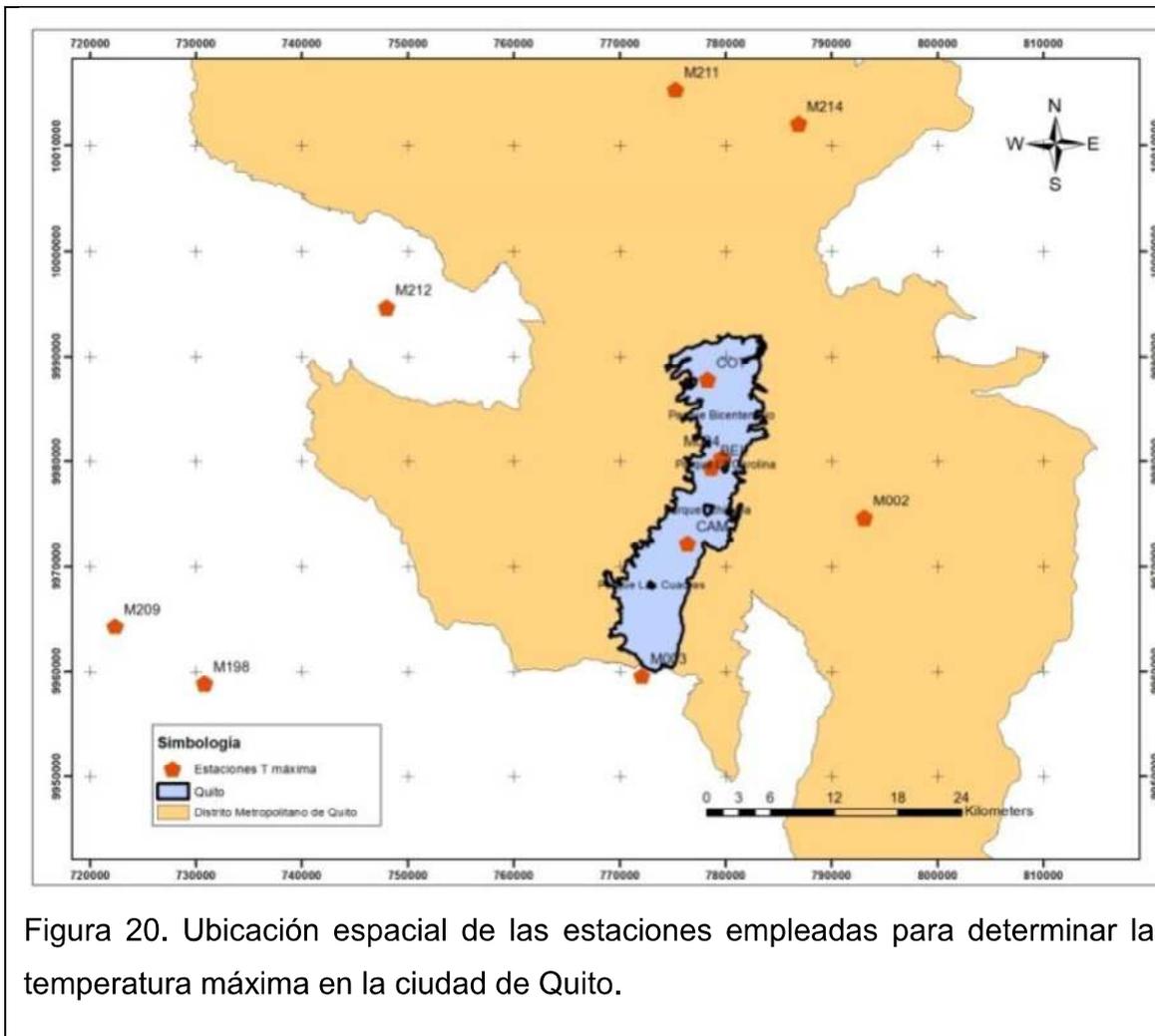


2.2.3. Temperatura máxima

Para el estudio se revisaron los registros de las estaciones meteorológicas próximas a la ciudad, que poseen información de temperaturas máximas y puedan aportar a un análisis del comportamiento. Destacándose 6 estaciones ubicadas a nivel de suelo (3 principales y 3 de apoyo) y 3 estaciones de apoyos ubicados en terrazas de edificios dentro del perímetro de la ciudad.

Tabla 17. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la temperatura máxima absoluta y promedio.

Id	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	33	Principal
2	M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	38	Principal
3	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	45	Principal
4	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrace)
5	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrace)
6	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	6	Apoyo (terrace)
7	M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	11	Apoyo
8	M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	8	Apoyo
9	M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	11	Apoyo
10	M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	14	Apoyo
11	M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	11	Apoyo

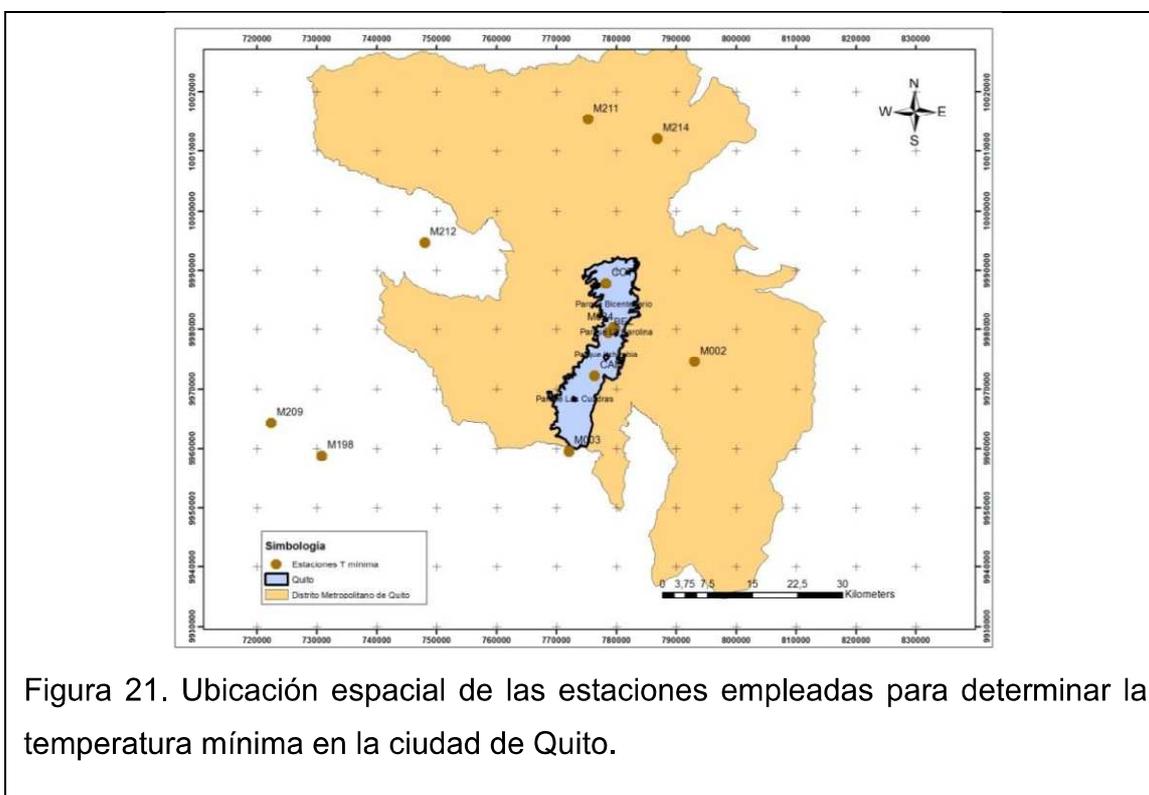


2.2.4. Temperatura mínima

Se analizaron los registros de las estaciones meteorológicas que poseen información de temperaturas mínimas y de las que puedan aportar con el estudio del comportamiento a lo largo de la ciudad. Fueron identificadas 3 estaciones principales y 5 de apoyo a nivel del suelo y 3 de apoyo ubicadas en terrazas, se consideró el gradiente altitudinal para el análisis

Tabla 18. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la temperatura mínima absoluta y promedio.

ID	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	33	Principal
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	45	Principal
3	M024	ÑAQUITO	779647	9980274	2789	38	Principal
4	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrace)
5	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrace)
6	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	6	Apoyo (terrace)
7	M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	11	Apoyo
8	M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	8	Apoyo
9	M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	11	Apoyo
10	M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	12	Apoyo
11	M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	11	Apoyo



2.2.5. Heliofanía y radiación solar

Al igual que en los incisos anteriores, los únicos valores confiables respecto a esta variable fueron obtenidos de los registros de las estaciones detalladas en la tabla 20. Fueron seleccionadas 3 a nivel del suelo como principales y 3 en terrazas como apoyo. Cabe señalar que los valores de heliofanía de las estaciones de apoyo fueron obtenidos a partir de la radiación solar que los instrumentos de estas estaciones poseen, se consideró los coeficientes de variación de altura para heliofanía y radiación solar.

Debido a la insuficiencia de datos en valores con heliofanía, no se puede triangular datos, motivo por el cual no se realiza mapeo de esta variable, sin embargo se realiza análisis de datos.

Tabla 19. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la heliofanía y radiación solar.

Id	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado	Unidad (medida)
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	28	Principal	Horas
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	29	Principal	Horas
3	M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	28	Principal	Horas
4	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrazza)	W/m2
5	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrazza)	W/m2
6	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	6	Apoyo (terrazza)	W/m2

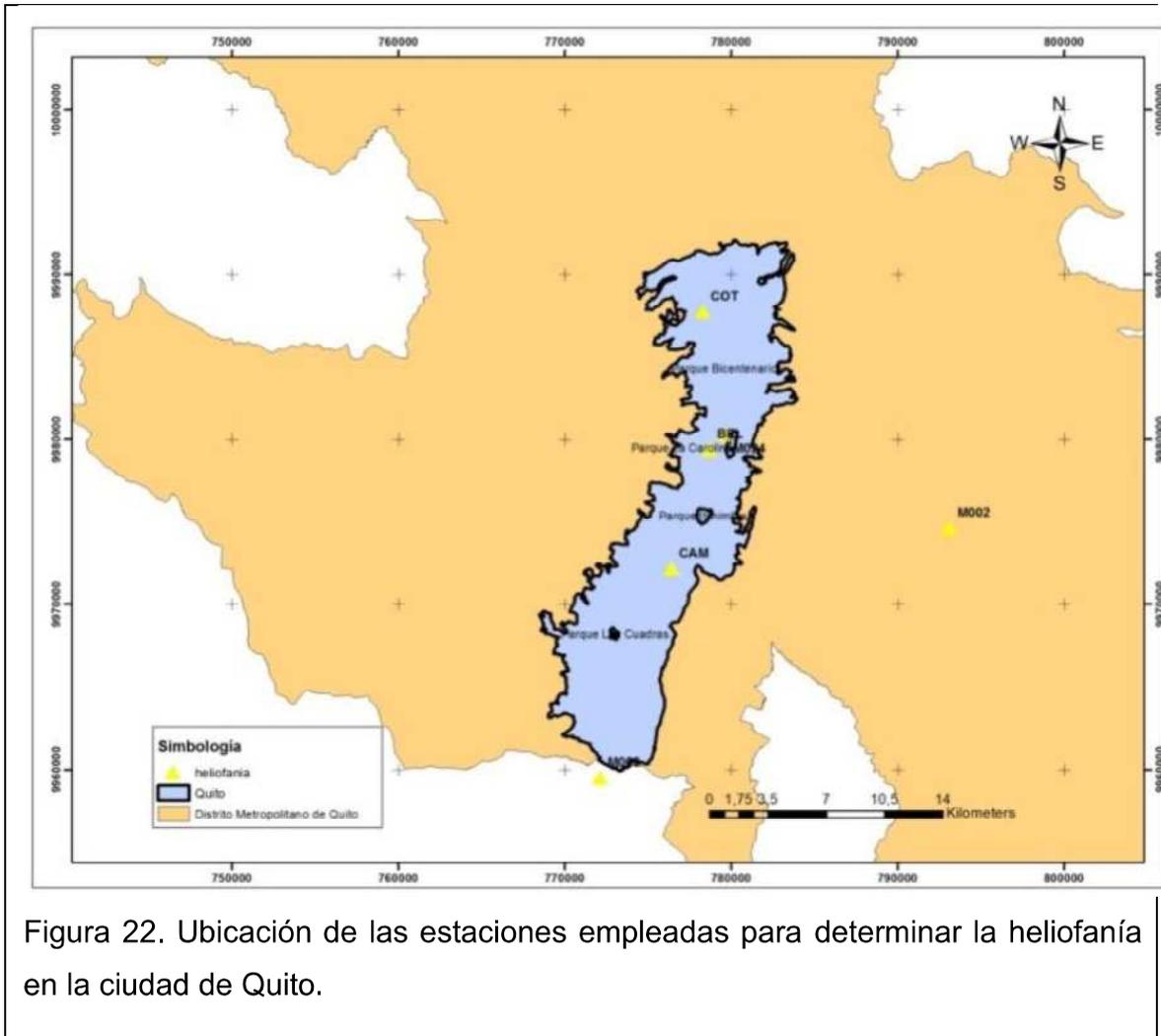


Figura 22. Ubicación de las estaciones empleadas para determinar la heliofanía en la ciudad de Quito.

2.2.6. Velocidad y dirección del viento

La velocidad del viento dentro de la ciudad es analizada mediante las estaciones seleccionadas que están enumeradas en la tabla 20. Son 3 principales a nivel del suelo y 3 de apoyo en terrazas de edificios. La densidad de estaciones es baja y se requieren datos de la zona occidental de la ciudad.

Tabla 20. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar la velocidad y dirección del viento.

Id	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	30	Principal
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	8	Apoyo
3	M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	30	Principal
4	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	6	Apoyo (terrace)
5	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	6	Apoyo (terrace)
6	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	6	Apoyo (terrace)



Figura 23. Ubicación de las estaciones empleadas para denotar la velocidad y dirección del viento en la ciudad de Quito.

2.2.7. Evapotranspiración

La evapotranspiración de referencia calculada de acuerdo a la metodología presentada en el inciso 1.4.6., fue aplicada para las estaciones de M002, M003, M024 (tabla 21), debido a que son las únicas con la cantidad de datos necesarios para su cálculo. Los datos de las otras estaciones enumeradas en la tabla 21 fueron obtenidos del INAMHI.

Tabla 21. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar el comportamiento de la evapotranspiración.

ID	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Periodos Anuales	Estado
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	30	Principal
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	30	Apoyo
3	M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	30	Principal
4	M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	17	Apoyo
5	M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	13	Apoyo
6	M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	16	Apoyo
7	M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	18	Apoyo
8	M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	20	Apoyo

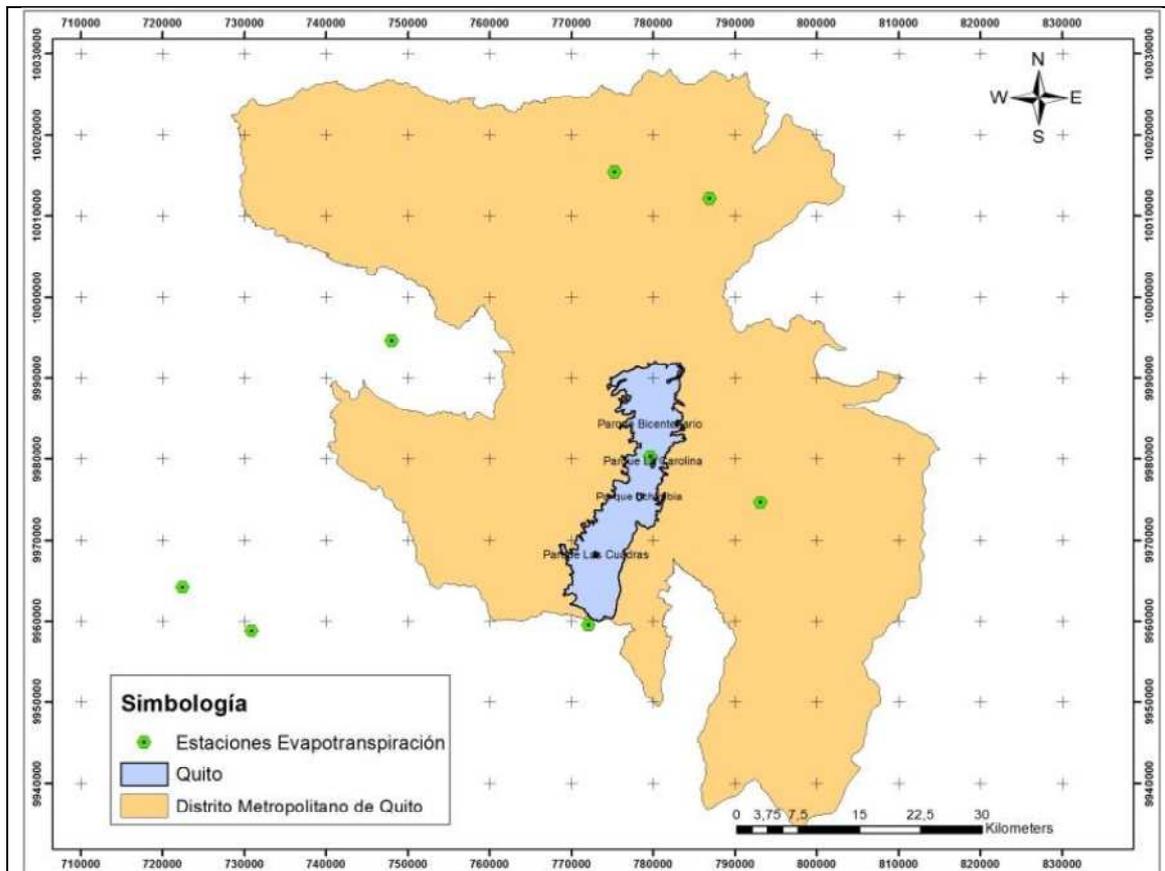


Figura 24. Ubicación de las estaciones empleadas para determinar la evapotranspiración.

2.2.8. Balance hídrico

Las estaciones utilizadas fueron seleccionadas debido a que son las únicas que poseen datos de evapotranspiración necesarios para calcular el balance hídrico. Cabe señalar que las estaciones con id: 4 - 8 (tabla 22), fueron utilizadas como fuente de apoyo para la elaboración de los mapas por lo tanto los valores aportados de precipitación no se encuentran disponibles dentro del respectivo análisis, pero si fue utilizado en el presente análisis. Para verificar su ubicación dirigirse a la figura 24.

Tabla 22. Estaciones meteorológicas empleadas para determinar el comportamiento del balance hídrico dentro de la ciudad.

Id	Código	Estación	X (m)	Y(m)	Altura (msnm)
1	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479
2	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052
3	M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789
4	M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805
5	M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500
6	M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235
7	M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830
8	M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260

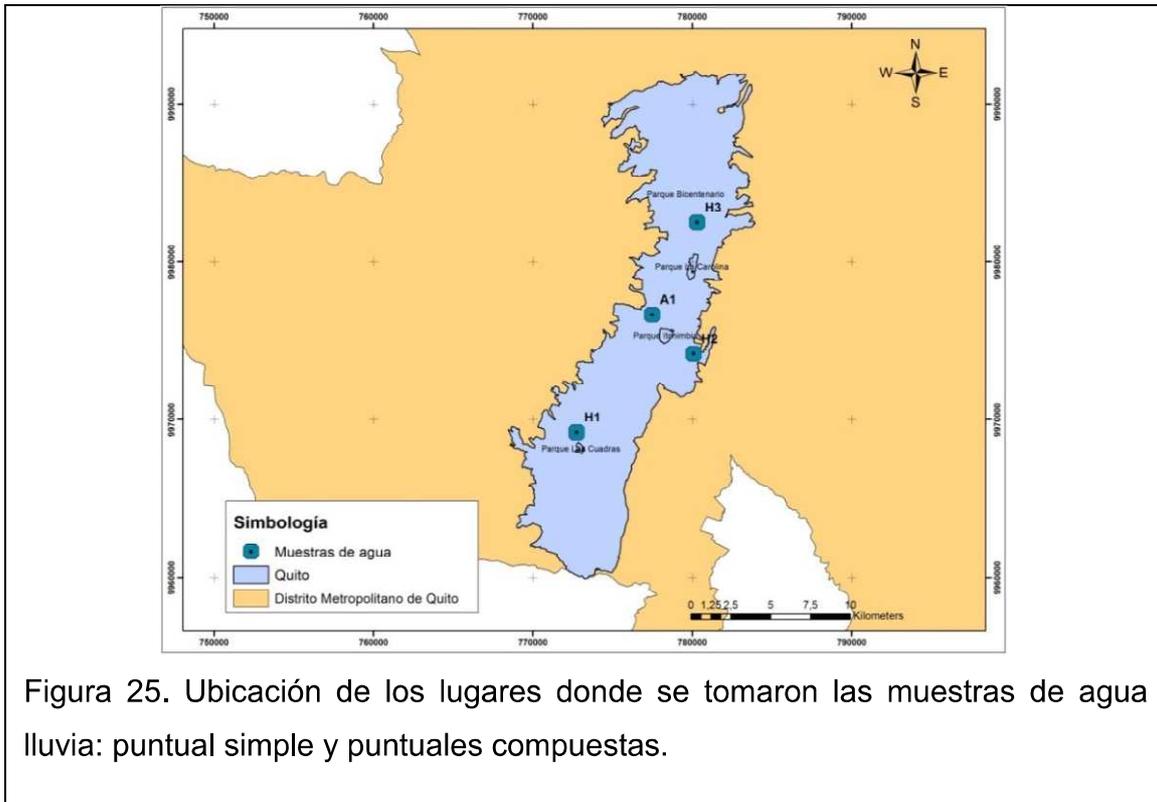
2.2.9. Calidad de agua lluvia

Debido a los altos costos que representa el realizar un amplio muestreo dentro de la ciudad no se pudo efectuar una investigación profunda del fenómeno, sin embargo se realizó un muestreo puntual simple y 3 más puntuales compuestos. Los parámetros que se analizaron se basaron en el marco teórico que respalda la investigación.

Tabla 23. Lugares de la toma de muestras de agua lluvia.

Id	Código	Zona	Sector	X (m.)	Y (m.)	Altura (m.s.n.m.)
1	A1*	Centro	San Juan	777483	9976670	2855
2	H1**	Sur	Santa Rita	772744	9969180	2889
3	H2**	Centro	Monjas	780078	9974170	2873
4	H3**	Norte	El Inca	780308	9982491	2797

Nota: * Muestra analizada en laboratorio certificado CESAQ-PUCE. ** Muestras analizadas en los laboratorios de la FICA- UDLA / Cátedra de Hidrología, 2013.



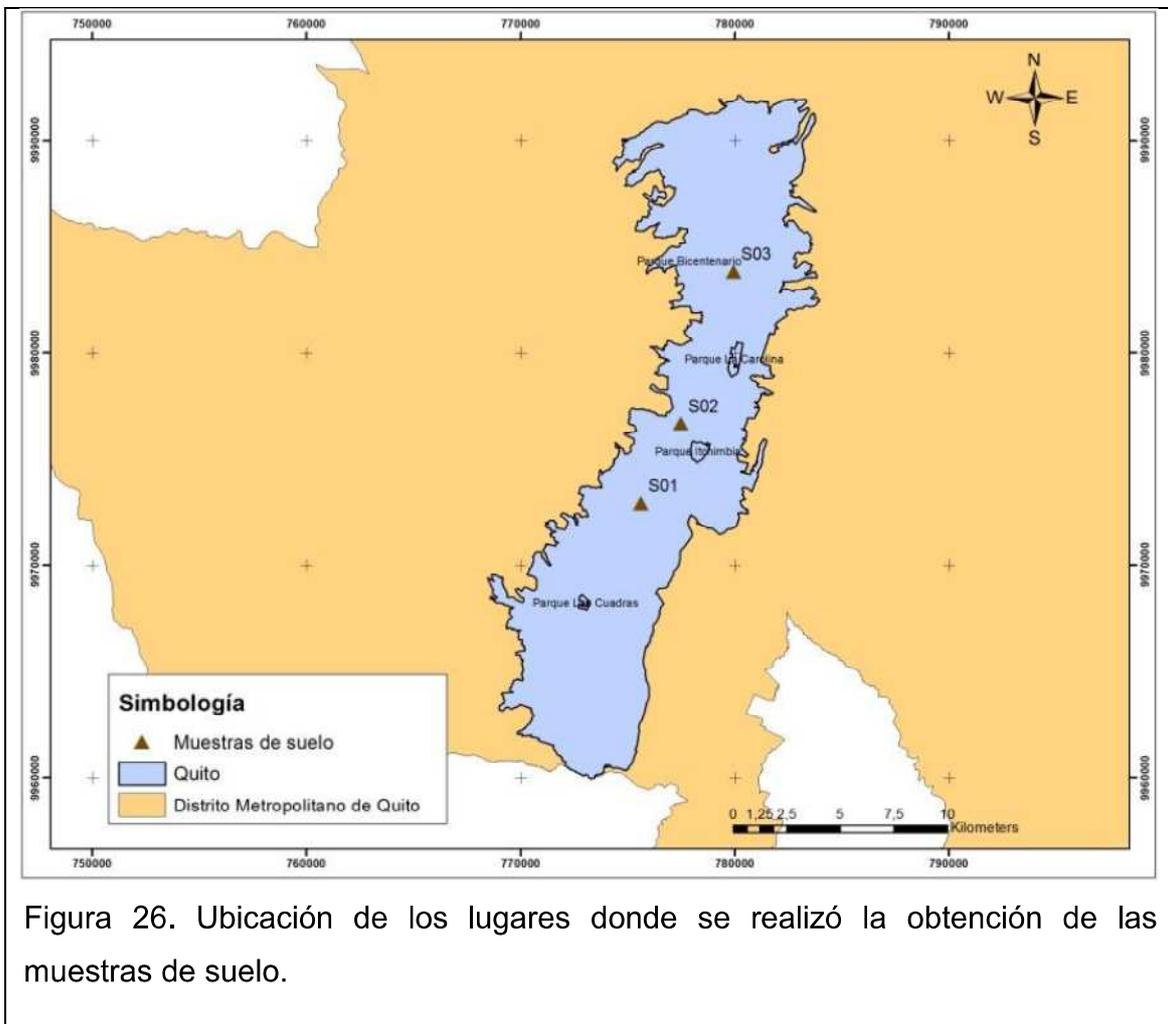
2.2.10. Suelo y sustrato

2.2.10.1. Suelos

Los lugares de los cuales se sustrajo el suelo que se utilizó para preparar los sustratos del experimento fueron seleccionados considerando el Mapa General de Suelos del Ecuador (figura 14). A continuación en la tabla 24 y figura 26 se muestra su ubicación geo-referenciada.

Tabla 24. Lugares de la ciudad donde se obtuvo el suelo.

Id	Código	Zona	Sector	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm.)
1	S01	SUR	VILLA FLORA	775627	9972891	2805
2	S02	CENTRO	SAN JUAN	777483	9976670	2855
3	S03	NORTE	PARQUE BICENTENARIO	779962	9983804	2804



2.2.10.2. Sustratos

De acuerdo a lo considerado en marco teórico y limitado por la oferta local de cada uno de los elementos que pueden conformar un sustrato se eligieron los siguientes componentes:

- Humus de lombriz.
- Compost.
- Pomina / piedra pómez (roca volcánica).
- Cascarilla de arroz.

2.3. Análisis de las variables hidroclimáticas presentes en la zona de estudio

2.3.1. Precipitación

En regiones montañosas evaluar la distribución espacial de la precipitación es más complicado que en aquellas zonas que no lo son, debido a que sus patrones están influenciados por los altos cambios del relieve topográfico en distancias relativamente cortas. Para el presente estudio se consideró emplear la metodología kriging ordinario (Mair y Fares, 2011), no se aplicó ninguna metodología de geo estadística debido a que la correlación entre la precipitación y la altura apenas fue de: $r^2 = 0.28$.

Para el análisis de la precipitación se elaboró una serie de mapas de isoyetas en periodos mensuales, que representan el comportamiento de la variable, se determinaron los rangos que se presentan a lo largo del polígono de la ciudad; además se analizó las series de datos de las estaciones principales con el objeto de verificar su tendencia al aumento o reducción de la precipitación. Es importante señalarla cantidad de agua que se podría presentar, con el objeto de diseñar o planificar un sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvia. Esto permitiría contar con un cierto volumen de agua por cada metro cuadrado de sistema de captación implementado, el mismo valor está reflejado en la síntesis del experimento.

2.3.1.1. Isoyetas

Enero

Se presenta la pluviosidad desde aproximadamente 58 mm (zona norte) y aumenta a medida que avanzamos hacia el sur, donde para el centro – oeste se

estima que alcanza los 107 mm., para terminar con toda la zona sur en 140 mm excepto en la zona sur – oeste donde puede llegar hasta los 180 mm.

Rango: 57 - 180 mm.

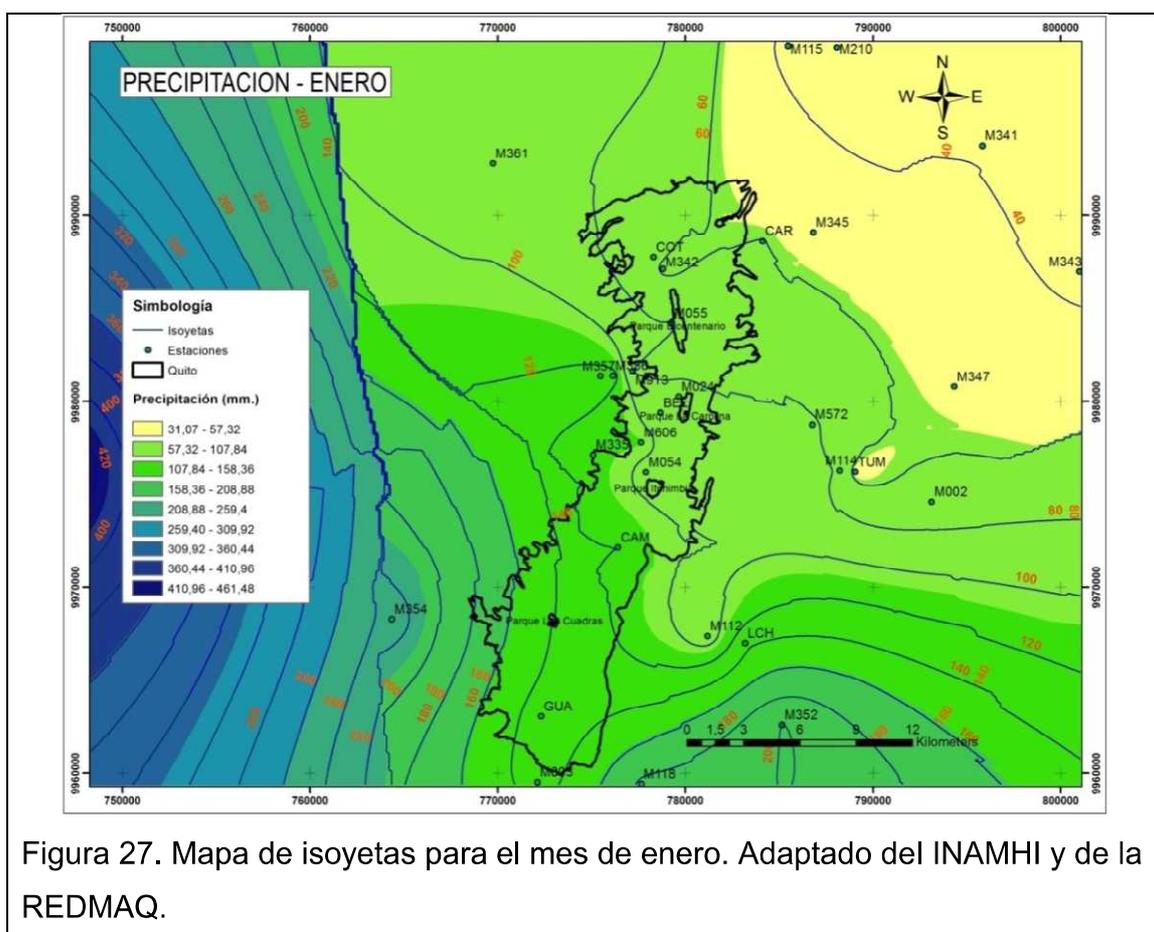
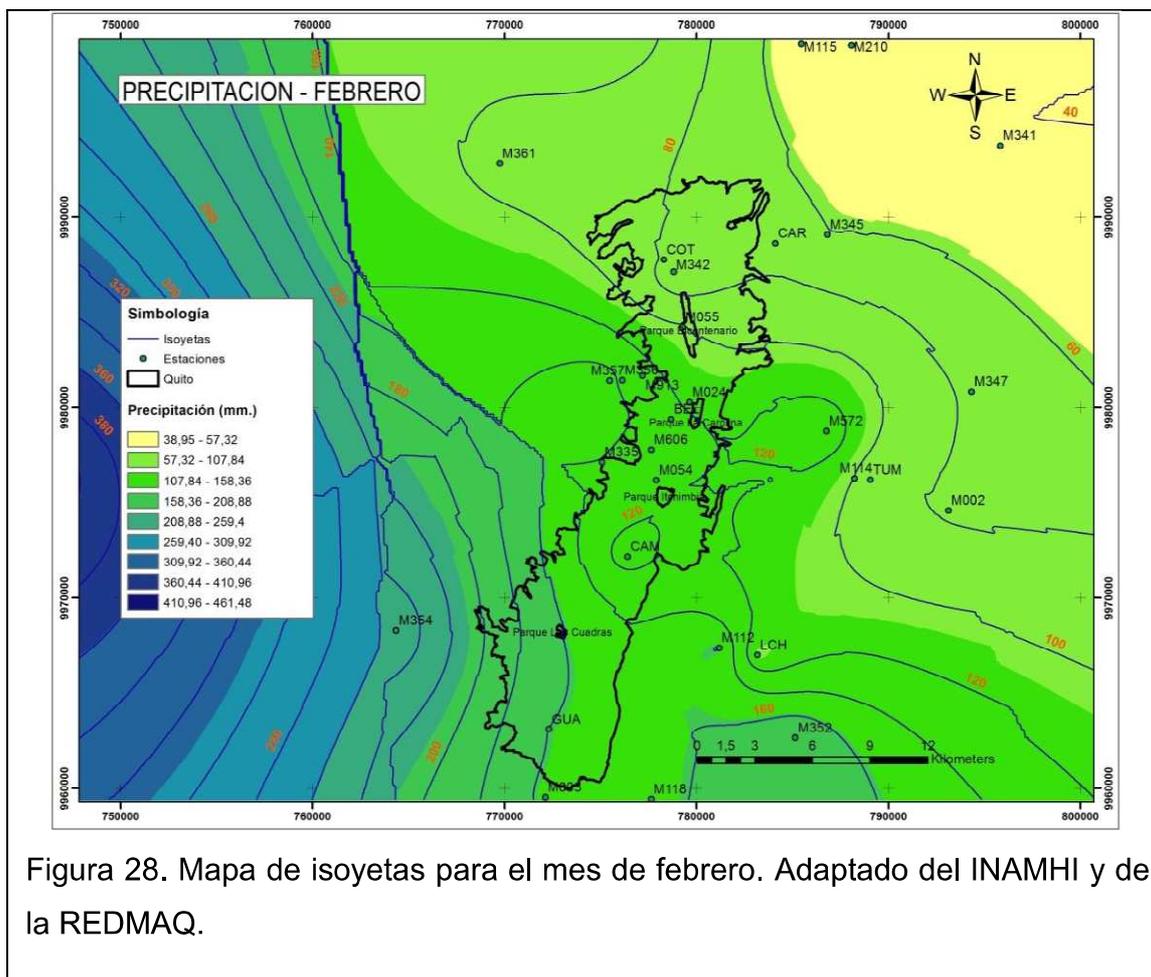


Figura 27. Mapa de isoyetas para el mes de enero. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.

Febrero

Se estima que para el mes de febrero las condiciones pluviales respecto al mes de enero varían, sobre todo en la zona centro – norte ya que alcanza los niveles de pluviosidad que se presentaban en la zona centro – oeste (107 mm.) y en la zona sur – oeste ya que aumentan de 140 hasta 160 y en la zona más occidental puede alcanzar los 200 mm.

Rango: 65 - 200 mm.



Marzo

En pleno desarrollo de la época lluviosa en la ciudad, la pluviosidad aumenta en todas las zonas y es así que en la zona norte se presentan rangos que van desde los 80 mm hasta los 110 mm (Parque Bicentenario), desde aquí hasta la zona de centro - sur varía hasta los 160 mm. Sin embargo hasta la zona sur la precipitación aumenta hasta los 200 mm y en la zona sur - oeste hasta los 230 mm.

Rango: 80 - 230 mm.

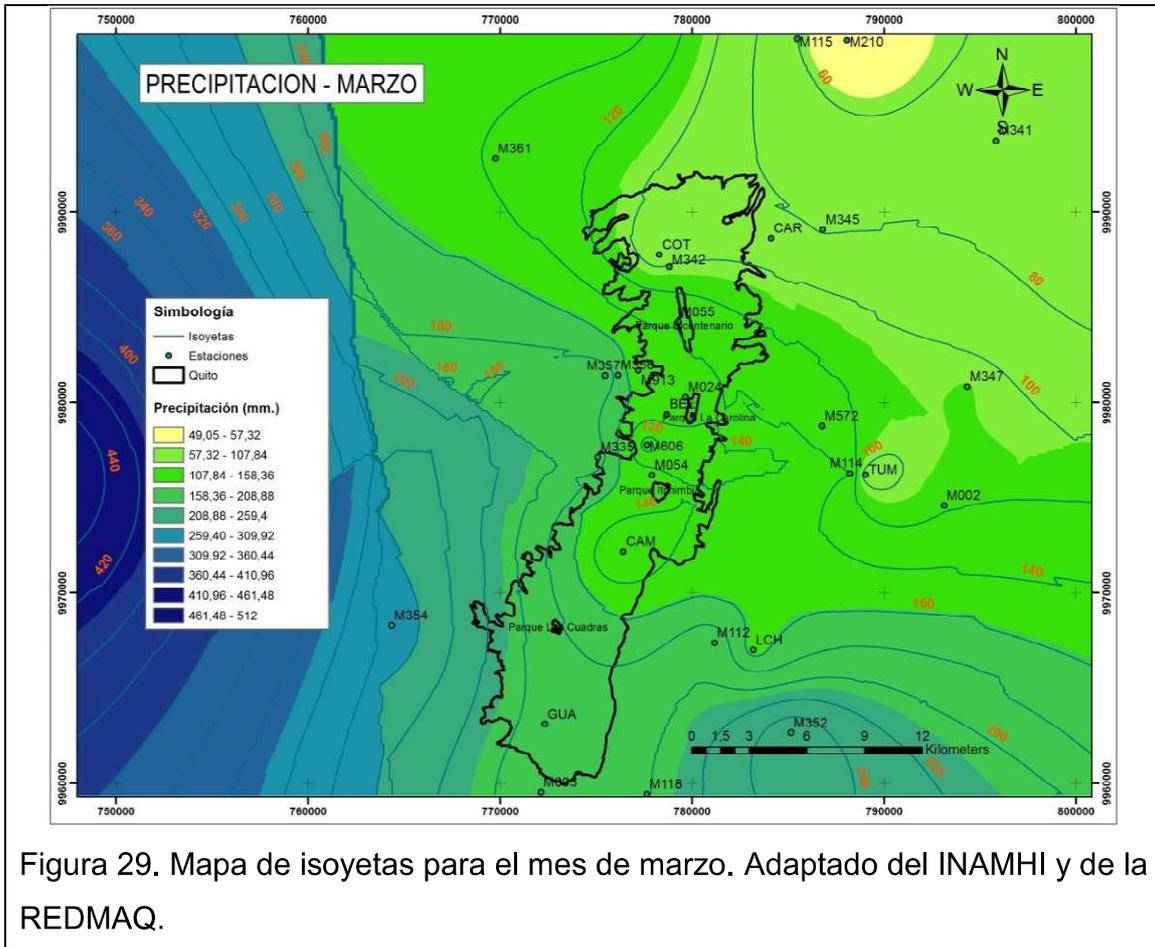
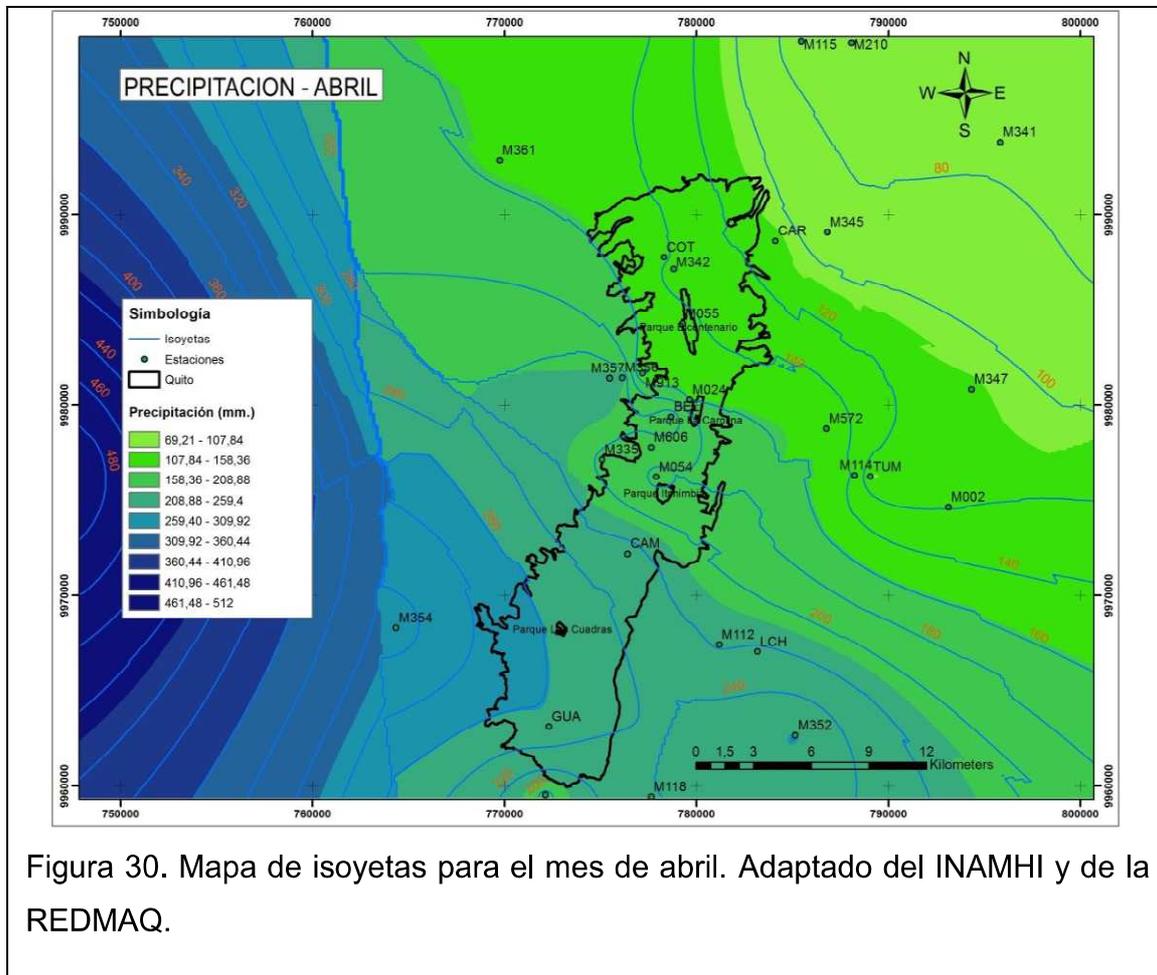


Figura 29. Mapa de isoyetas para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.

Abril

Considerado el mes con mayores niveles de precipitación en toda la ciudad. La zona norte empieza con precipitaciones de 105 - 160 mm a la altura del parque de la carolina (zona centro - norte). Desde este punto hasta la zona centro - sur (camal) las lluvias se presentan hasta alcanzar los 220 mm de aquí hacia el sur aumenta especialmente del lado occidental hasta los 280 mm

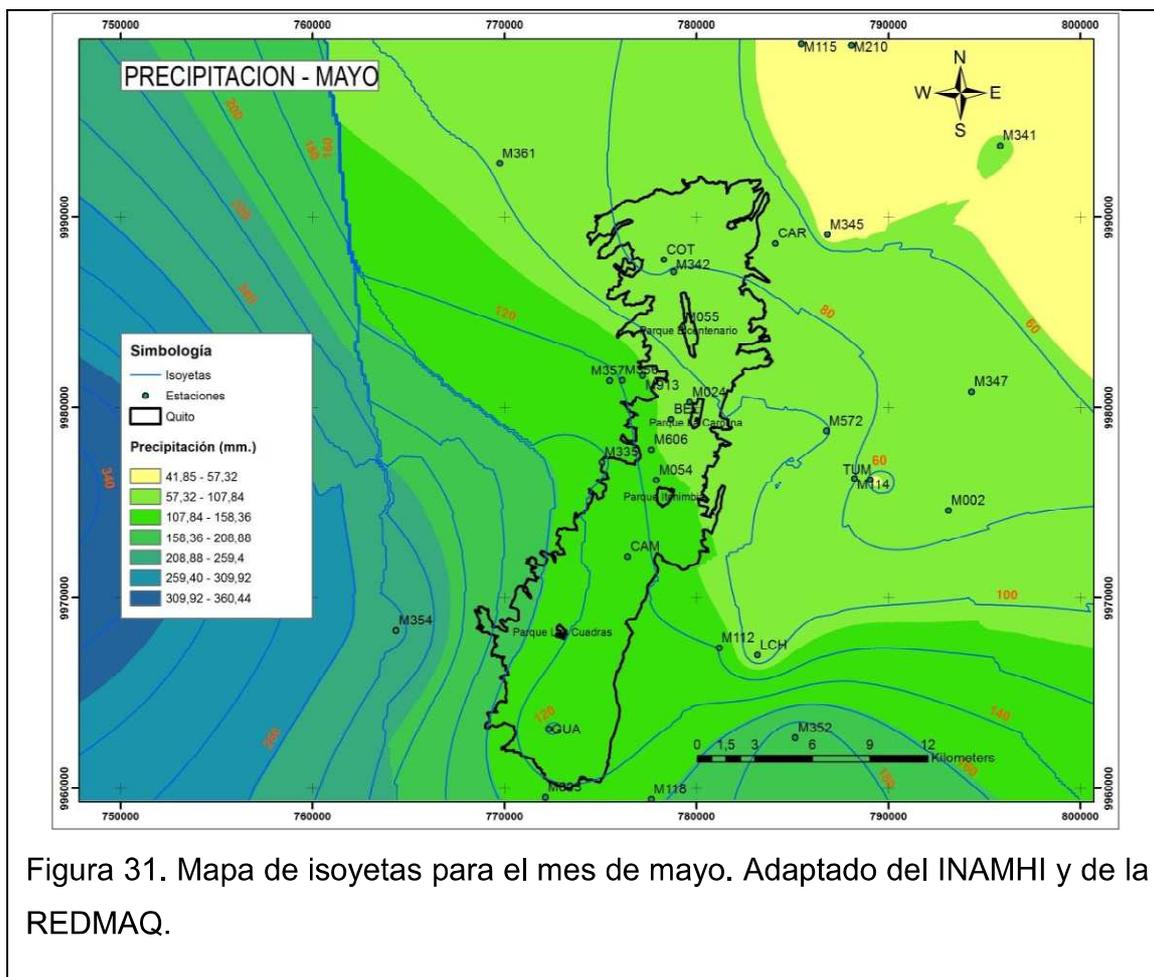
Rango: 105 - 280 mm.



Mayo

A partir de este mes las condiciones pluviales son menos severas, en otras palabras la cantidad de las lluvias disminuyen. Para la zona norte y hasta la zona central oriental se evidencia un rango de 60 - 110 mm. Desde esta zona hasta la zona sur - oeste aumentan su valor hasta llegar a los 170 mm.

Rango: 60 - 170 mm.



Junio

Claramente se evidencia el inicio de la época seca, ya que los valores de precipitación descienden a la mitad (50%) en la zona norte y en el sur hasta en un 25%, comparado con el mes anterior. En esta ciudad mosaico que posee diferente régimen pluviométrico en época de lluvia, en época seca disminuye a dos. El primero va desde el norte hasta la zona centro - sur y presenta eventos lluviosos que aportan de 25 a 60 mm. A partir del centro sur hasta el sur y sur - oeste aumenta hasta los 110 mm.

Rango: 25 - 110 mm.

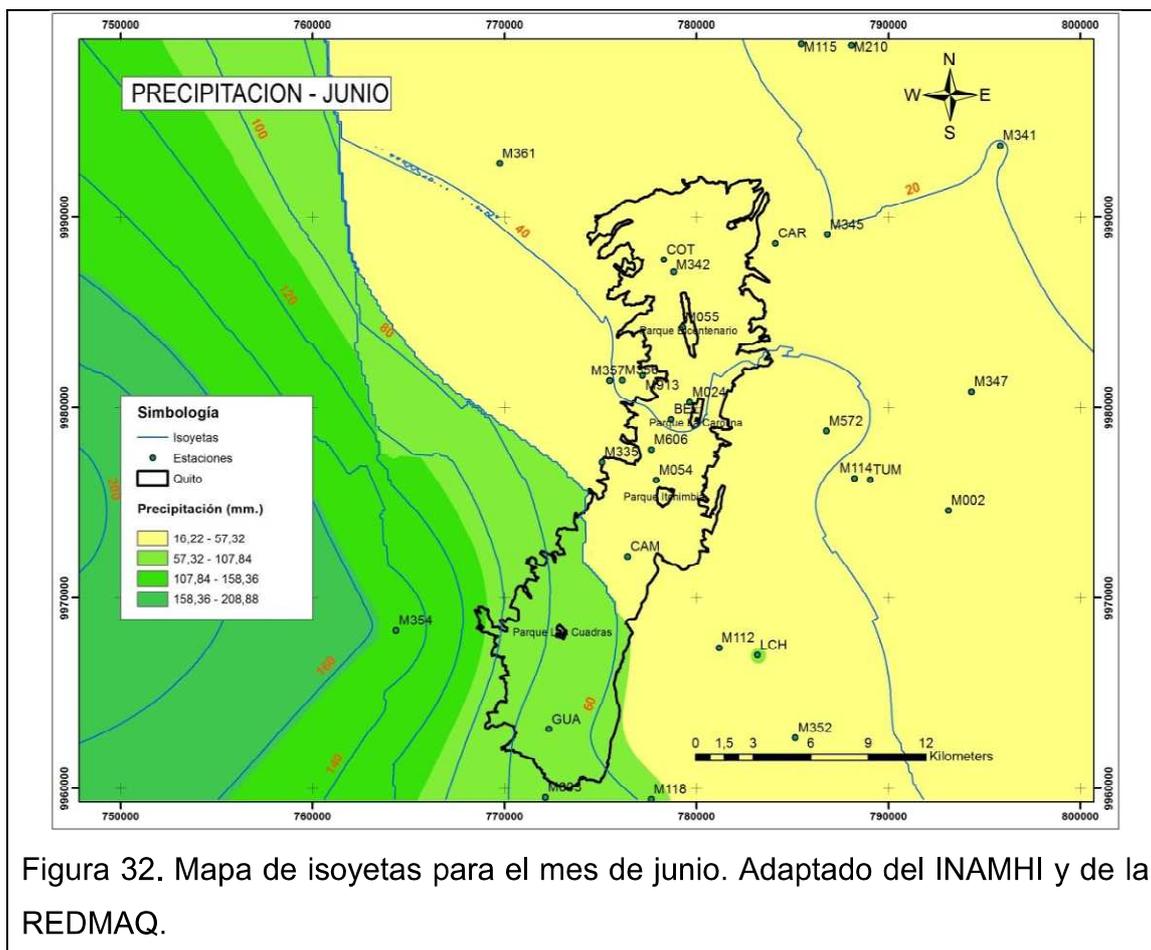


Figura 32. Mapa de isoyetas para el mes de junio. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.

Julio

Para este mes de época seca las precipitaciones son esporádicas, se puede observar en la figura 33. Las precipitaciones en promedio van desde 18 (norte) hasta los 60 mm (zona sur) y aumenta hasta 65 - 70 (mm) en la parte más occidental del sur.

Rango: 18 - 70 mm.

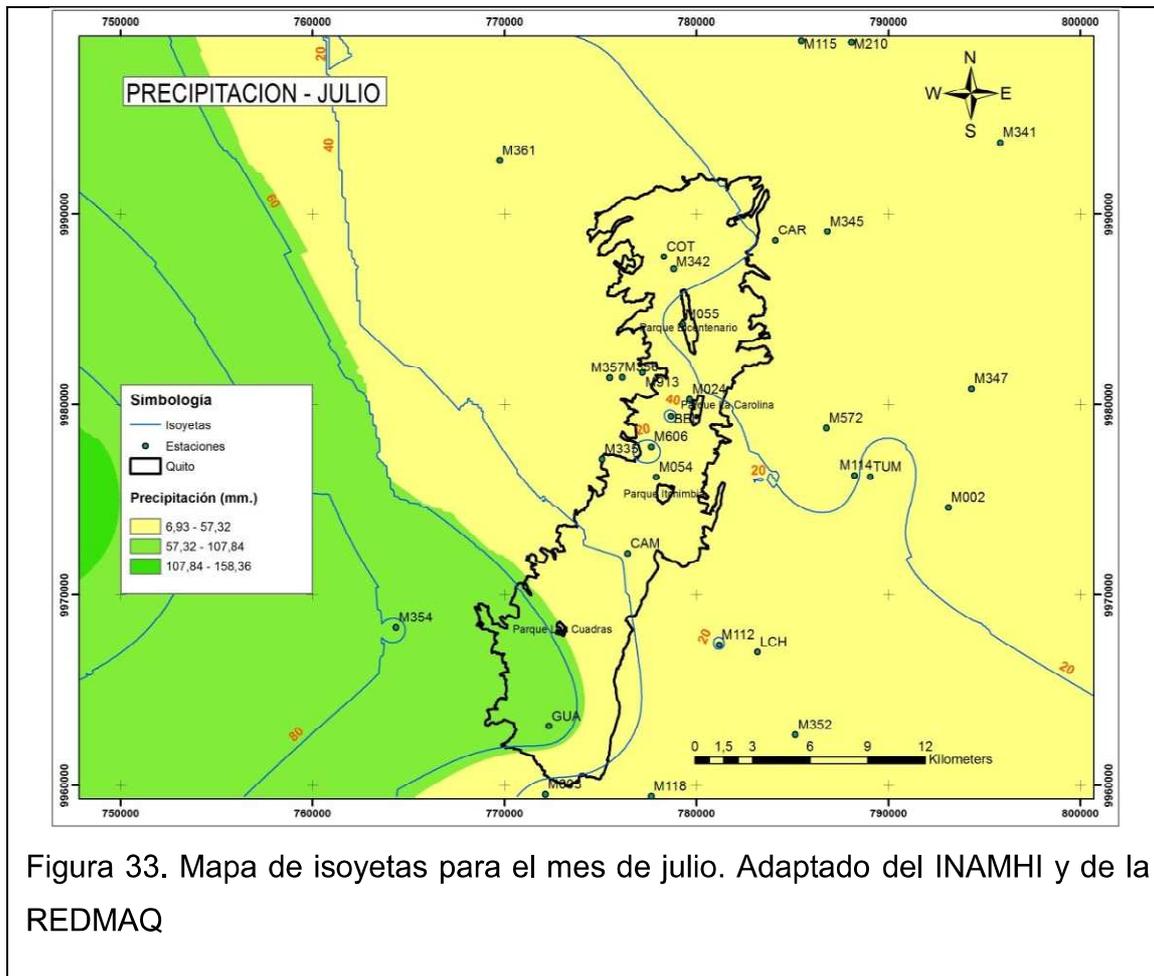


Figura 33. Mapa de isoyetas para el mes de julio. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ

Agosto

Se acentúa más la época seca. Los valores van aproximadamente de 13 mm en el norte hasta 60 mm en el sur. Sin embargo en la parte oeste del sur aumenta hasta aproximarse a los 80 mm.

Rango: 13 - 80 mm.



Septiembre

Es un mes caracterizado por el aumento de las precipitaciones, es un mes de transición entre la época seca y el inicio de la época lluviosa. Los valores en el norte son aproximadamente de 30 mm hasta 60 mm en el sector de parque bicentenario. De aquí hasta el sur de la ciudad los valores van de 60 - 80 y 110 mm.

Rango: 30 - 110 mm.

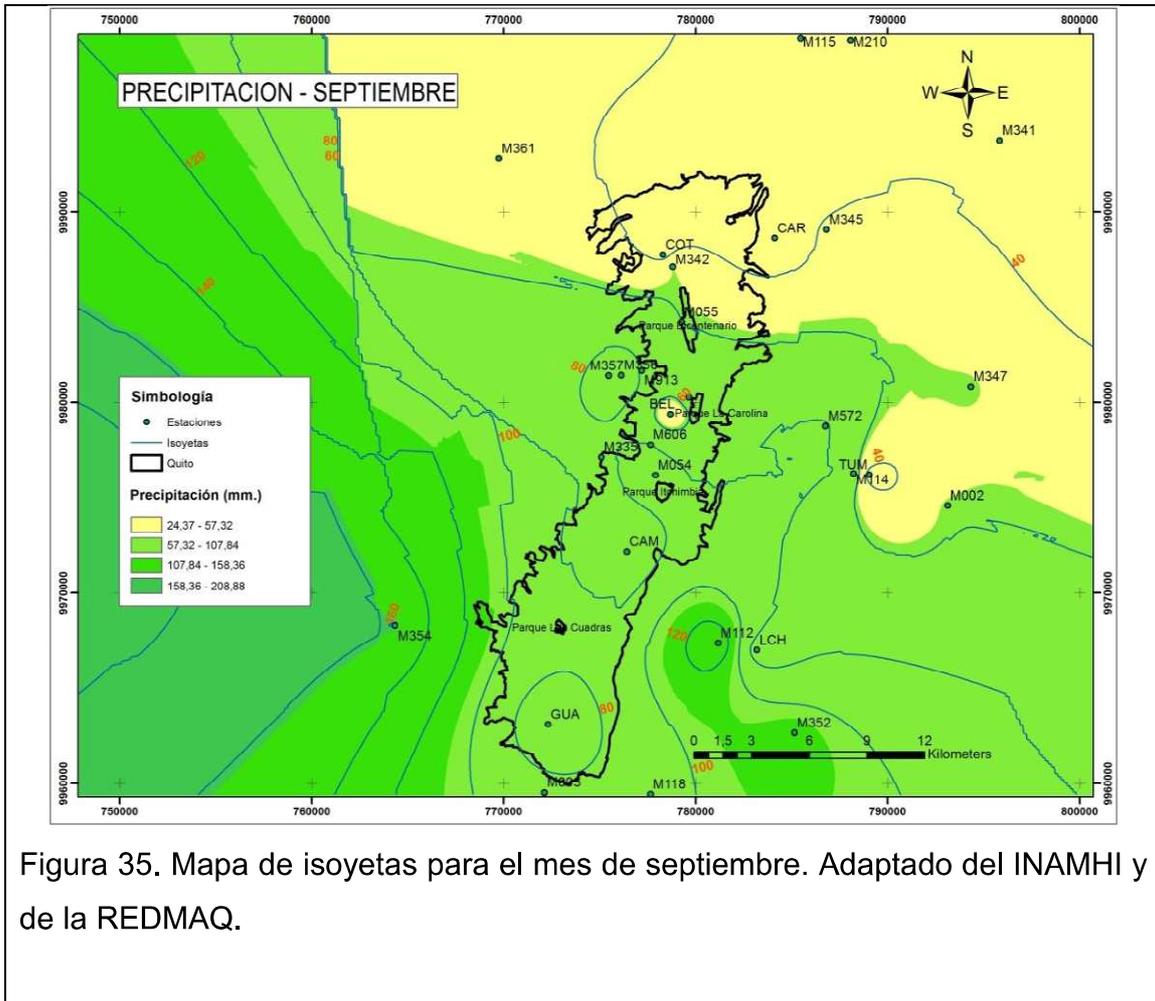


Figura 35. Mapa de isoyetas para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.

Octubre

Las precipitaciones aumentan notablemente y para la zona norte los valores de 50 a 60 mm hasta la zona de Cotacollao, desde aquí hasta la zona centro norte (Parque Carolina) va de 60 - 110 mm, es decir se duplica. En la zona centro sur los valores llegan a 160 - 180 mm y decrece a 140 en el extremo sur.

Rango: 50 - 180 mm.

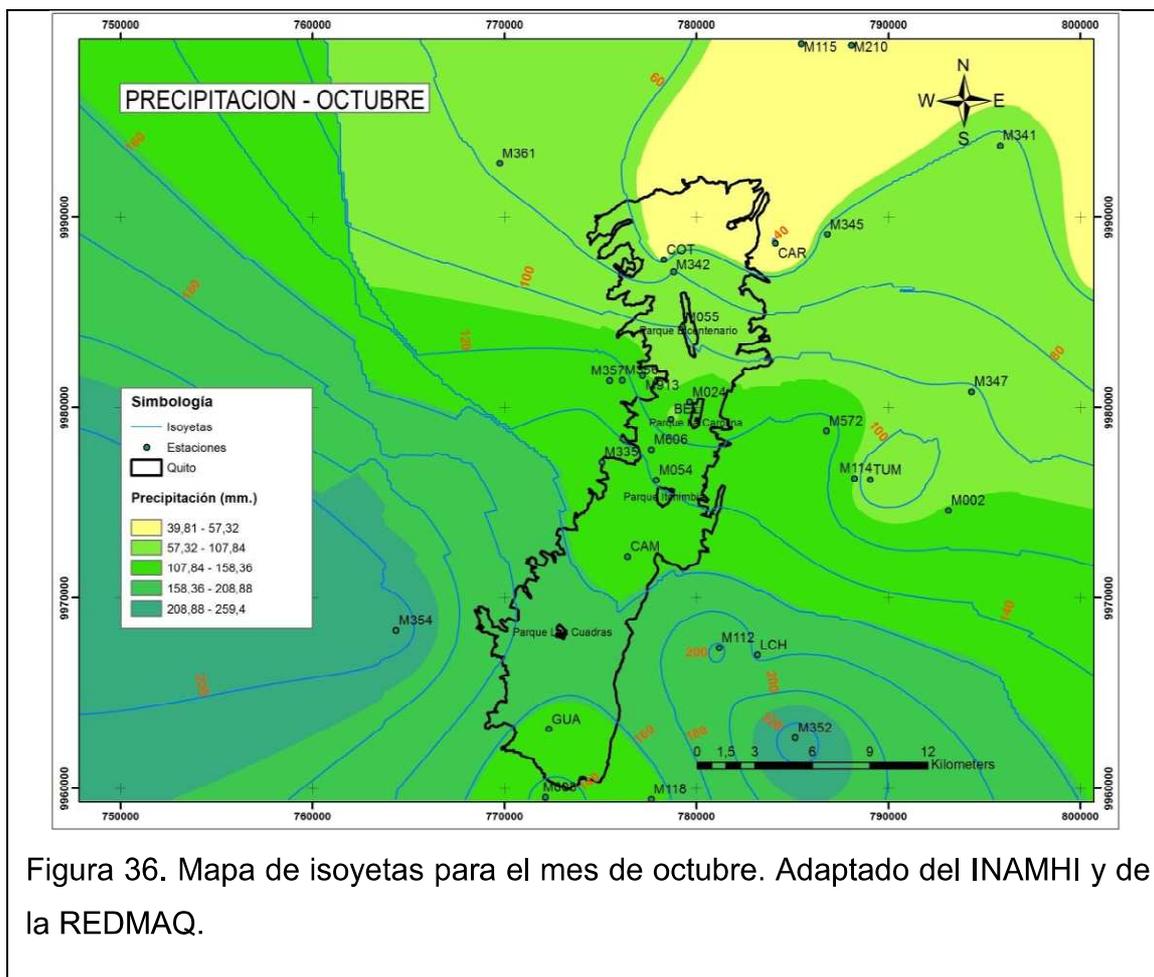
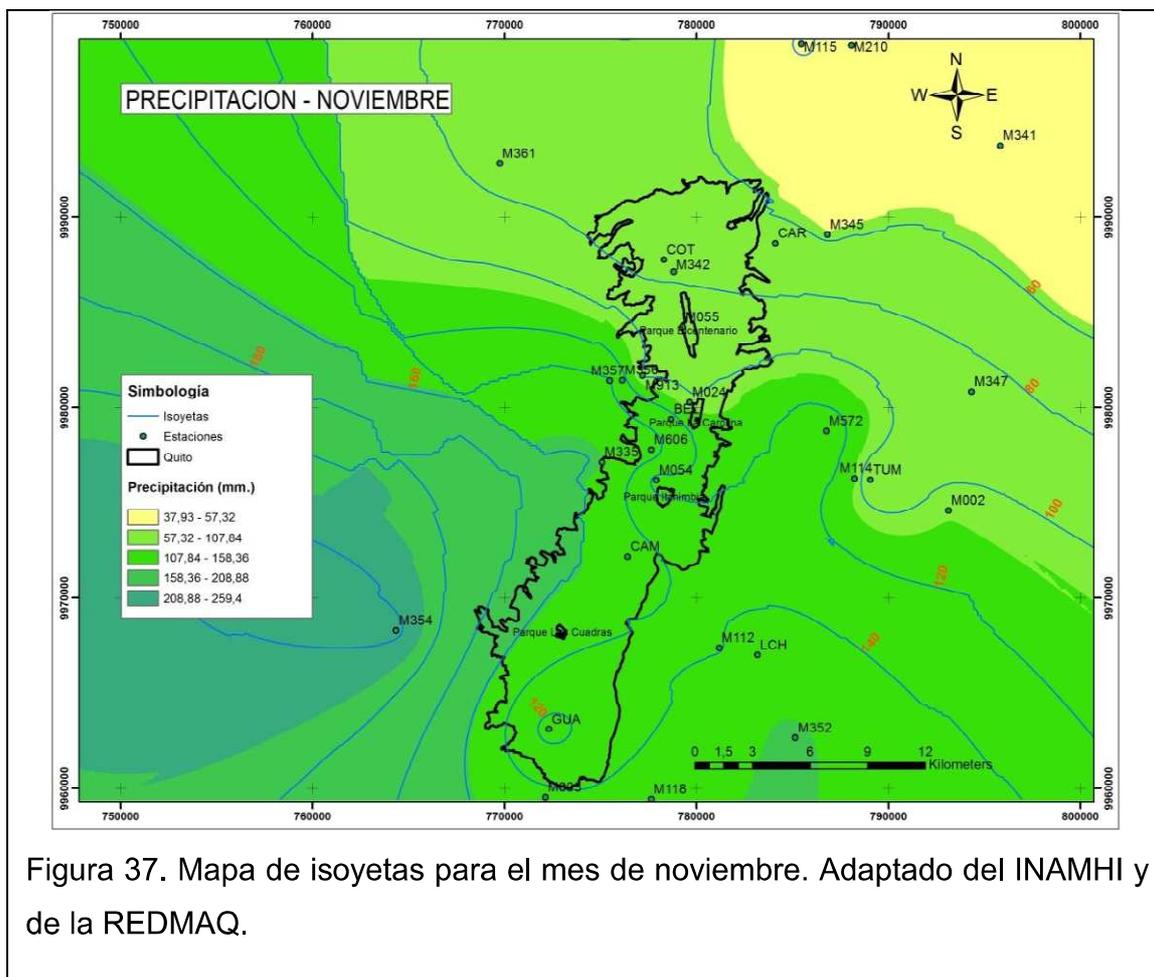


Figura 36. Mapa de isoyetas para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ.

Noviembre

En la ciudad caen 60 mm en la zona norte y hasta 160 mm en la zona sur. Sin embargo los 60 mm se distribuyen desde la zona norte hasta el sector centro norte (Parque Carolina) donde adquiere un valor aproximado de 110 mm y de aquí hasta el sur se divide el valor de hasta alcanzar los 160 mm.

Rango: 60 - 160 mm.



Diciembre

Disminuyen un poco las precipitaciones en el norte y ahora se encuentra aprox. A 45 mm. El sur notablemente registra mayores eventos pluviales, se puede obtener de 160 - 180 mm, especialmente en las zonas que se aproximen a la zona sur - oeste de la ciudad.

Rango: 45 - 180 mm.

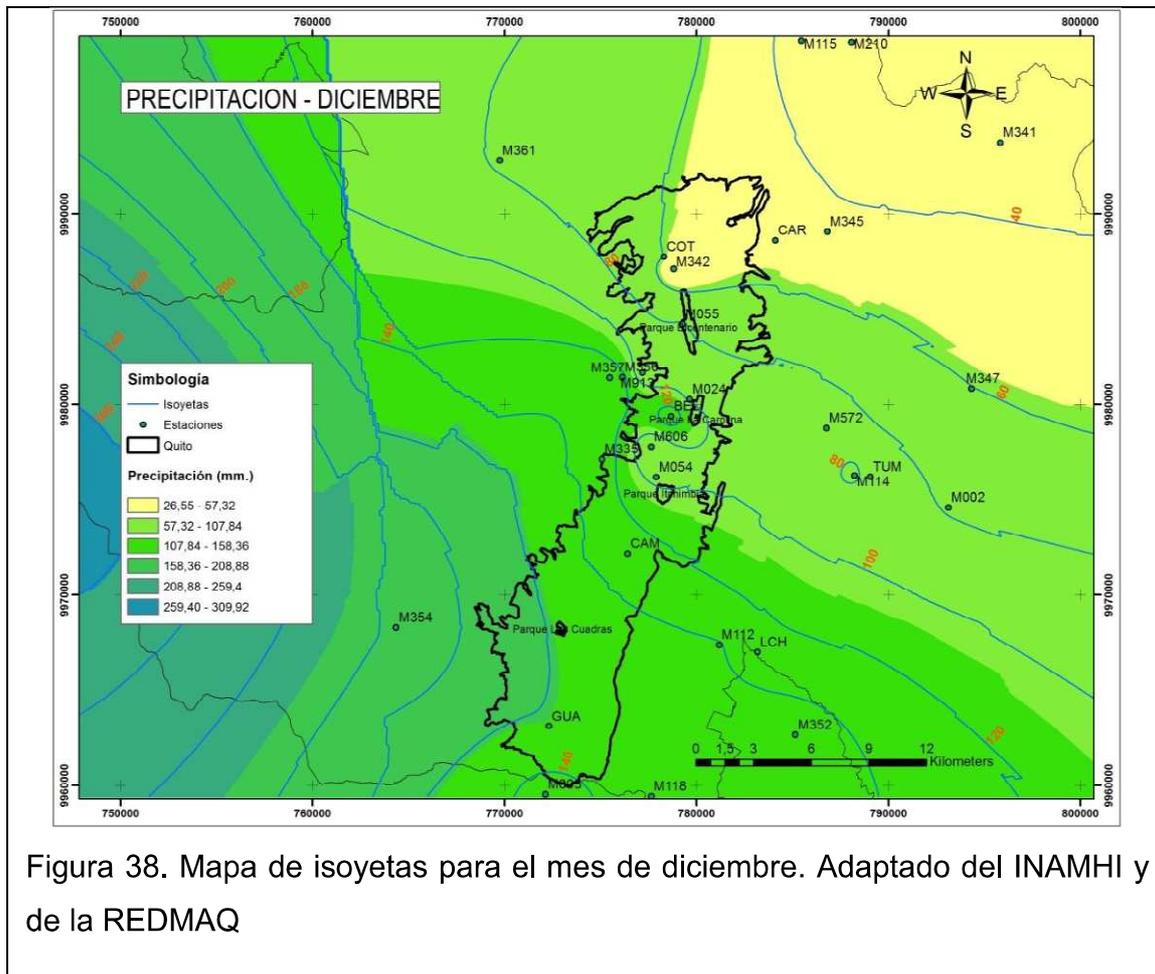
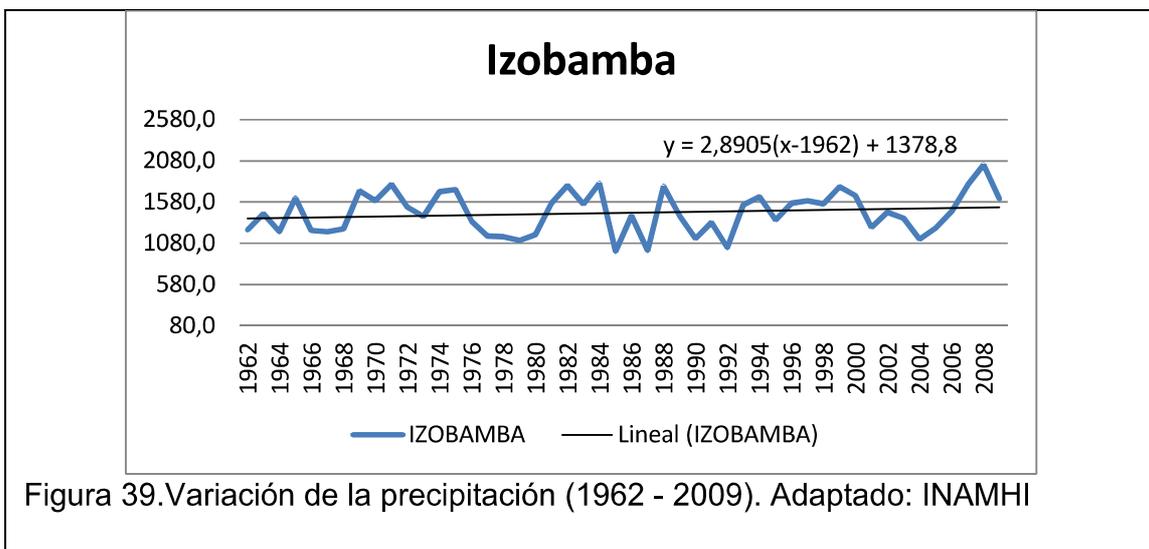


Figura 38. Mapa de isoyetas para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI y de la REDMAQ

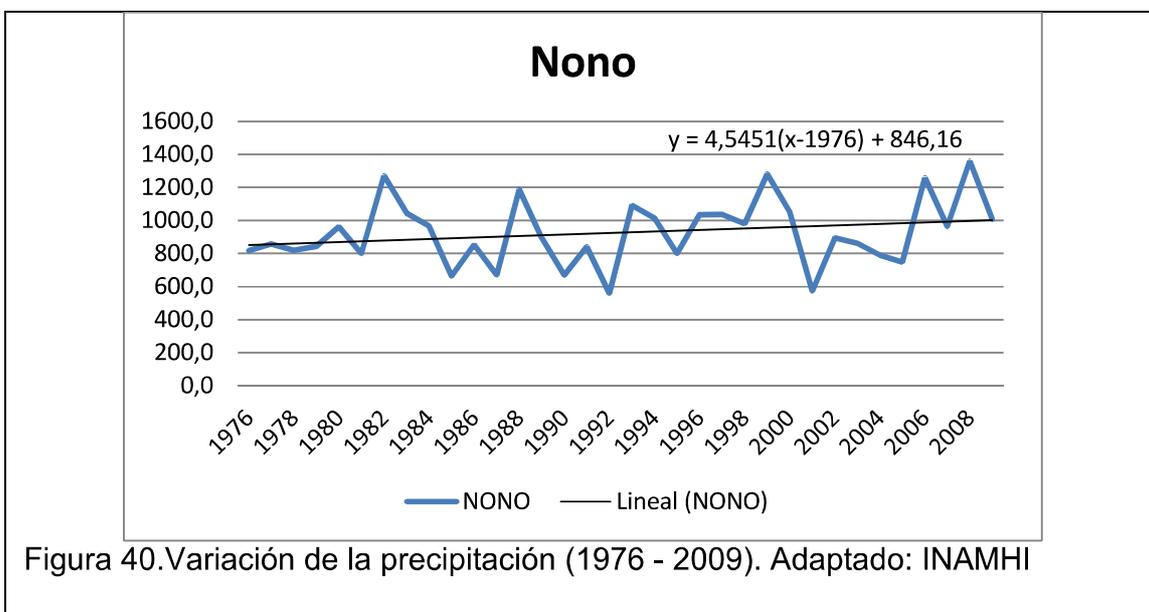
2.3.1.2. Tendencias de la precipitación

Incrementos

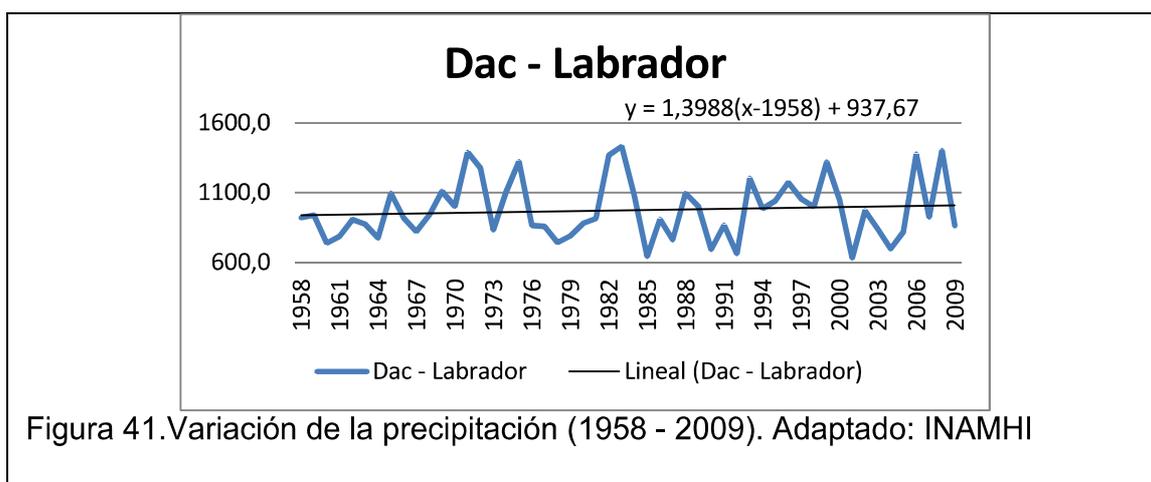
Izobamba (M003): Ubicada en la zona sur del DMQ. Se puede apreciar (figura 39) un incremento de la precipitación media aproximadamente en 100 mm en 47 años de registros. Se espera que para el año 2020 aumente a 1546 mm y 1633 mm para el año 2050, con un aumento anual estimado en 2.89%.



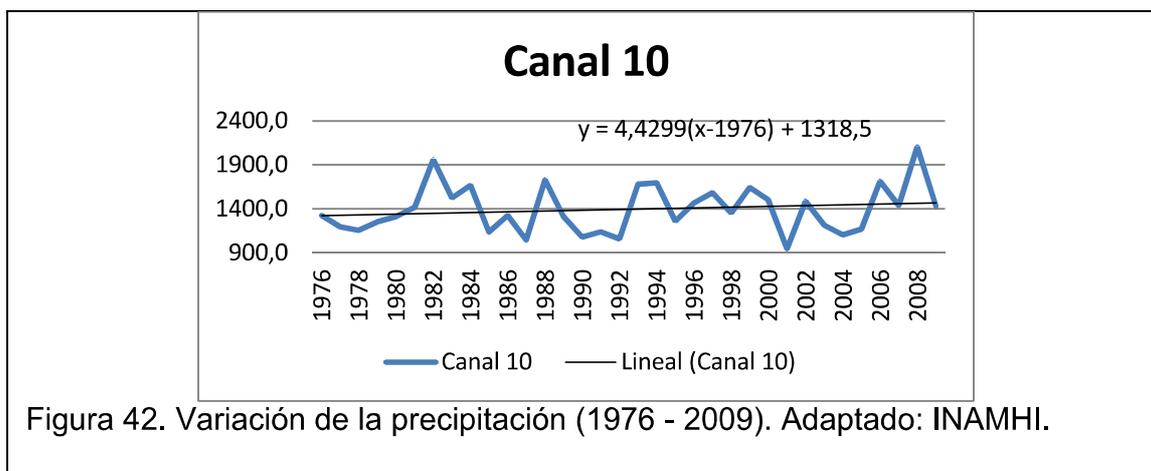
Nono (M361): En 33 años de registros, la estación ubicada en el noroccidente del DMQ ha incrementado su precipitación media en aproximadamente 160 mm (figura 40). Según la ecuación de la tendencia de la figura, posee la relación entre precipitación y tiempo más elevada (4,54). Para el año 2020 se pronostica una precipitación promedio anual (mm) de 1046 y de 1182 para el año 2050.



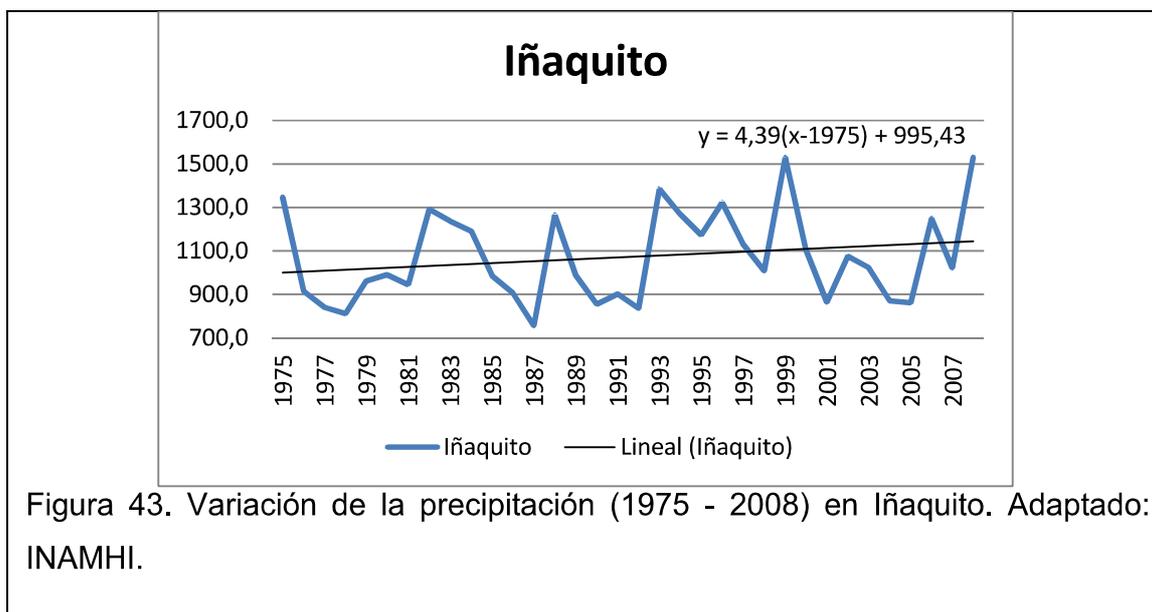
DAC - Labrador (M055): Se encuentra ubicada en el parque bicentenario, antiguo aeropuerto Mariscal Sucre, el análisis realizado corresponde a un periodo de 51 años, la tendencia muestra un incremento en la precipitación de aproximadamente 60 mm (1958 - 2009) (figura 41). Para el año 2020 se calcula que la precipitación promedio anual será de 1024 y de 1066 para el año 2050.



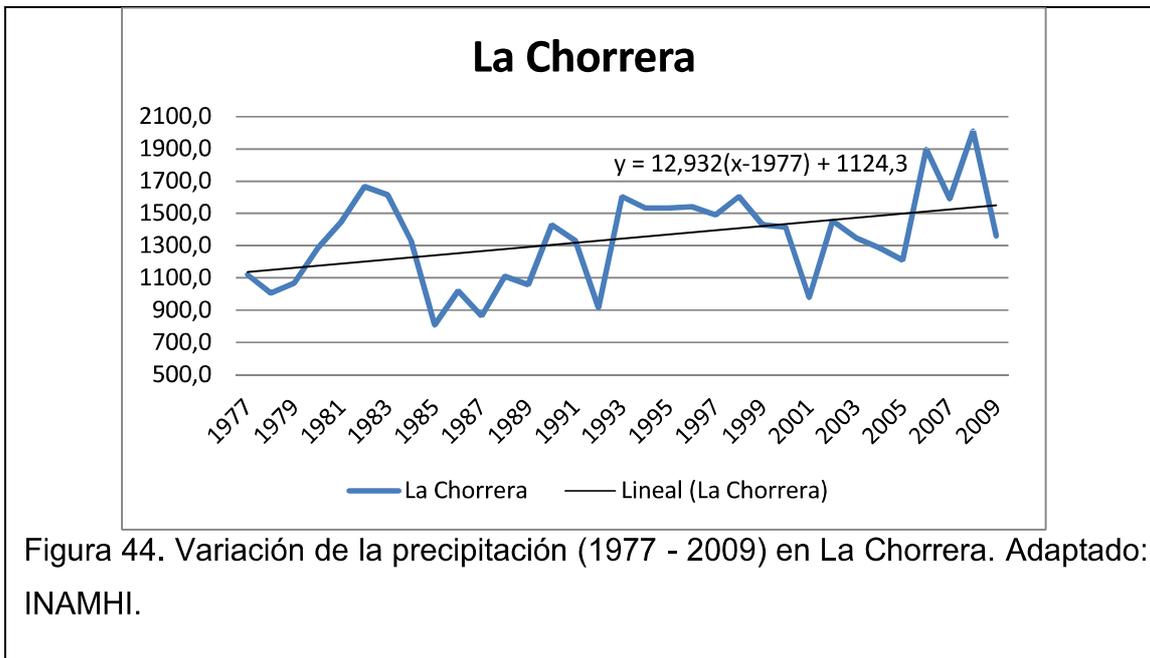
Canal 10 (M357): Su ubicación dentro de la ciudad está en el sector de Belisario (Colegio San Gabriel), en los 33 años de registros de la precipitación media esta marca un incremento de 140 mm aproximadamente (figura 42). Se pronostica un aumento a 1513 mm para el año 2020 y de 1646 para el año 2050.



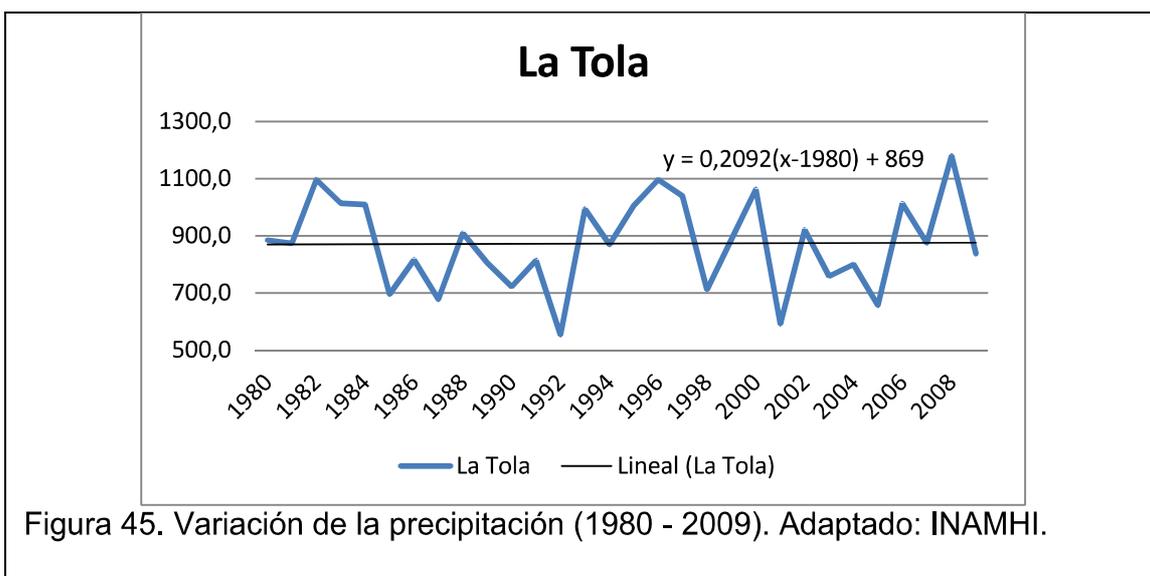
Iñaquito (M024): Se ubica en la zona centro - norte de la ciudad en la calle Iñaquito. El aumento en la precipitación media se aproxima a los 150 mm (figura 43), en base a 33 años de registro. Aplicando la ecuación de la línea de tendencia la precipitación en el año 2020 aproximadamente alcanzará los 1192 mm y 1324 para el año 2050.



La Chorrera (M335): Ubicada en la zona centro - occidente, sector de Toctiuco. En 32 años de registro esta estación marca una tendencia al incremento de la precipitación media en alrededor de 400 mm (figura 44). En el año de 1999 se tuvo un incremento considerable de la precipitación, posiblemente influenciado por el fenómeno del niño, razón por la cual se la descarto del registro reemplazando por el valor medio del registro. La razón del incremento (pendiente) es la más alta de toda estructura de datos considerada. Para el año 2020 se pronostica un aumento promedio hasta alcanzar los 1680 mm y para el 2050 el valor bordearía los 2068 mm, convirtiéndose en la zona más húmeda de la ciudad.

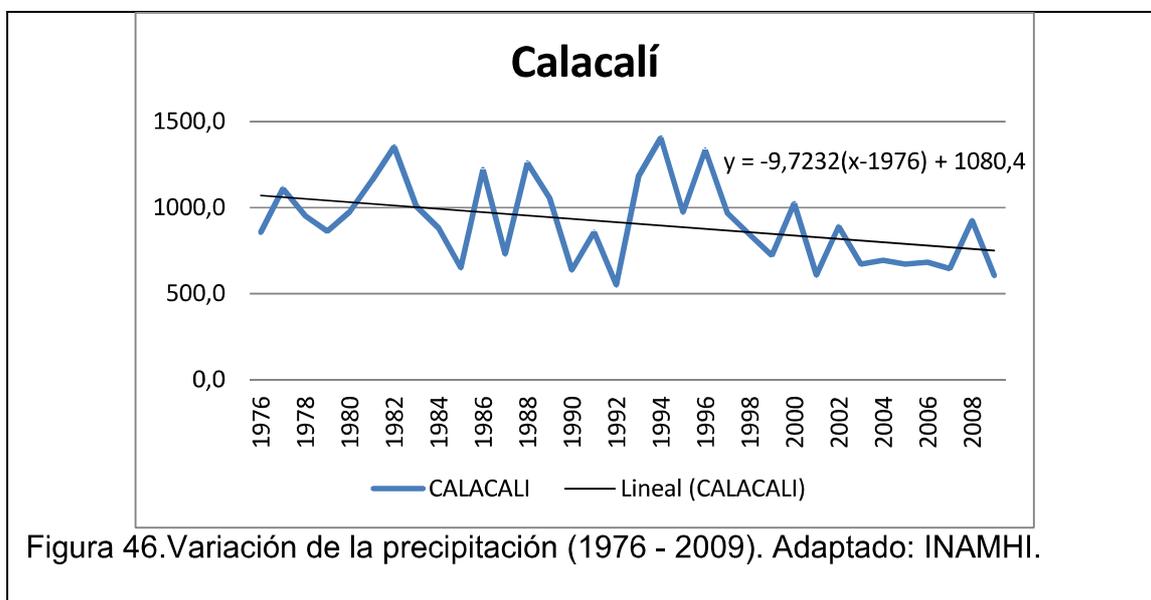


La Tola (M002): Ubicada en los valles orientales del DMQ. Sus registros datan desde 1980, es decir cuenta con 29 años de registros. En esta zona no se evidencia un decremento importante de las precipitaciones (figura 45). El pronóstico para el año 2020 se calcula en 878 mm y para el año 2050 en 884 mm.

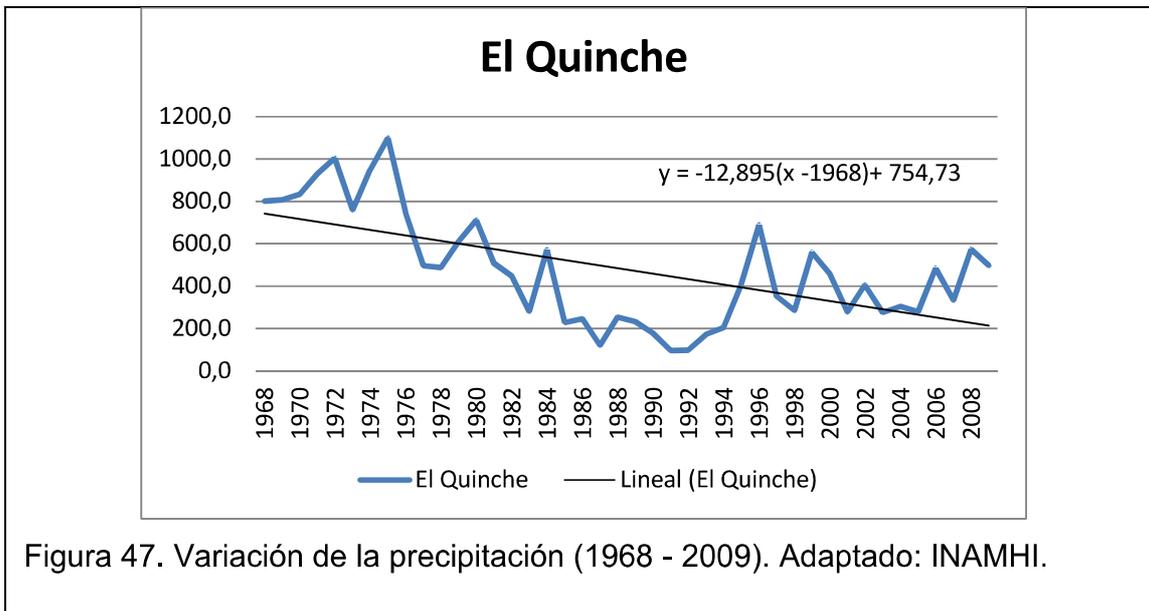


Decrementos

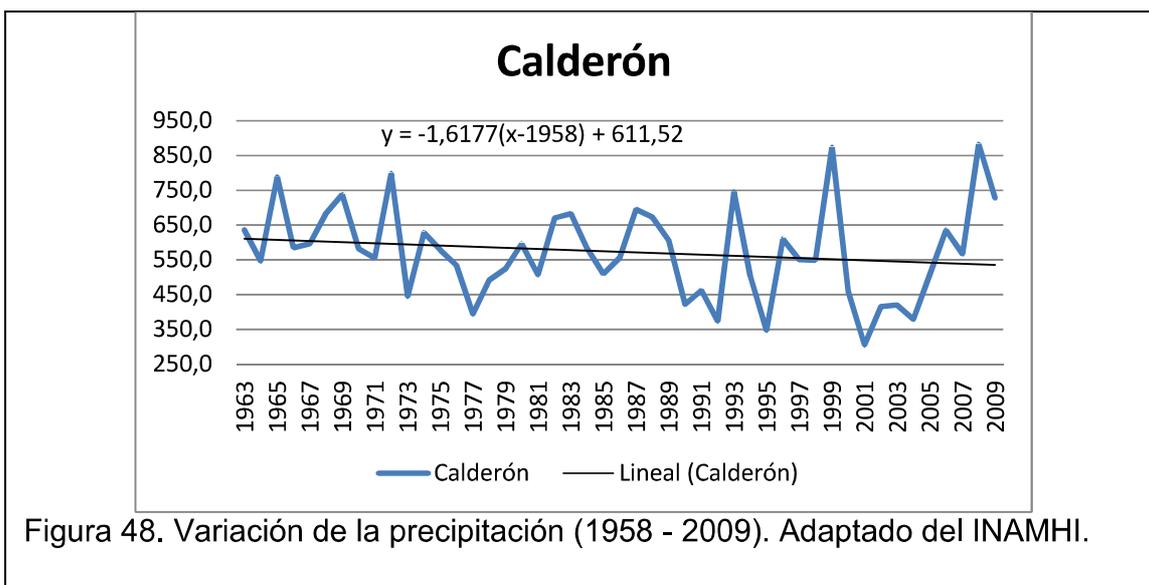
Calacalí (M358): Ubicada en la zona noroccidental de la ciudad, está más próxima a la ciudad que la estación de Nono. La precipitación media en 33 años de registro presenta un descenso en aproximadamente 320 mm (figura 46). El cálculo del pronóstico para el año 2020 es de 652 mm y 360 para el año 2050.



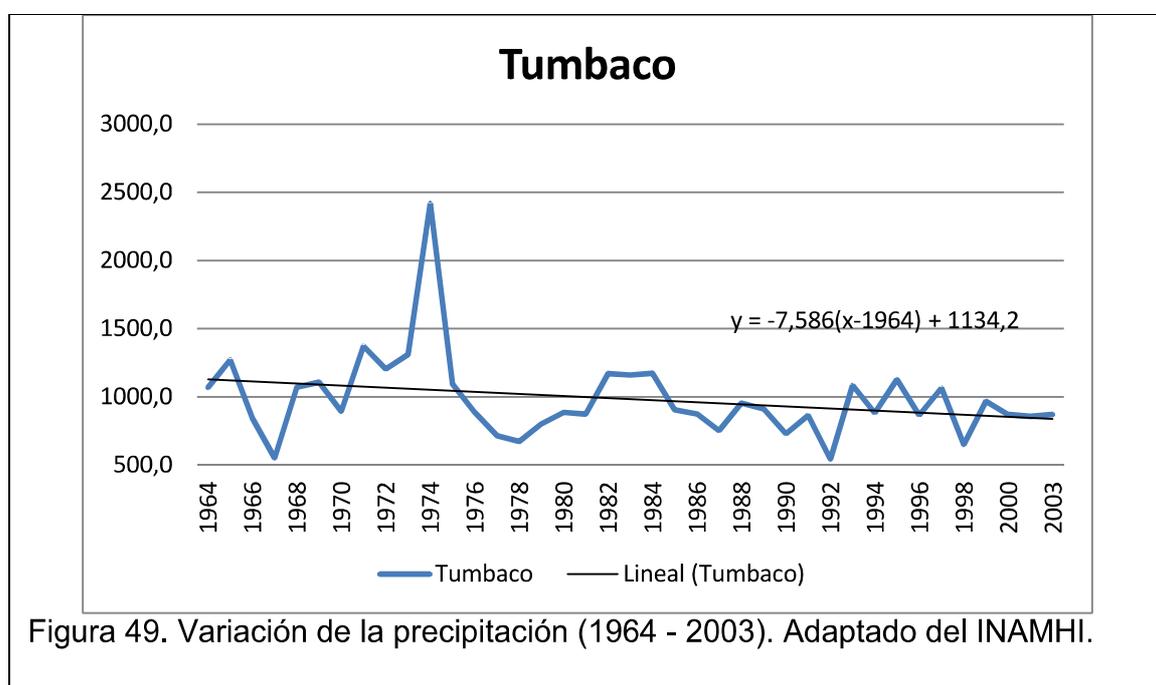
El Quinche (M343): Ubicada en los valles emplazados en la zona oriental del DMQ. Son 41 años de registro los cuales muestran una fuerte disminución de la precipitación media y es así que en este periodo de tiempo varía en aproximadamente 530 mm (figura 47). Su tendencia a la baja determina una precipitación aproximada de 84 mm para el año 2020 y de 0 para el 2050. Se debe vigilar y estudiar el cambio micro-climático en esta zona a su vez que se predice una paulatina desertificación.



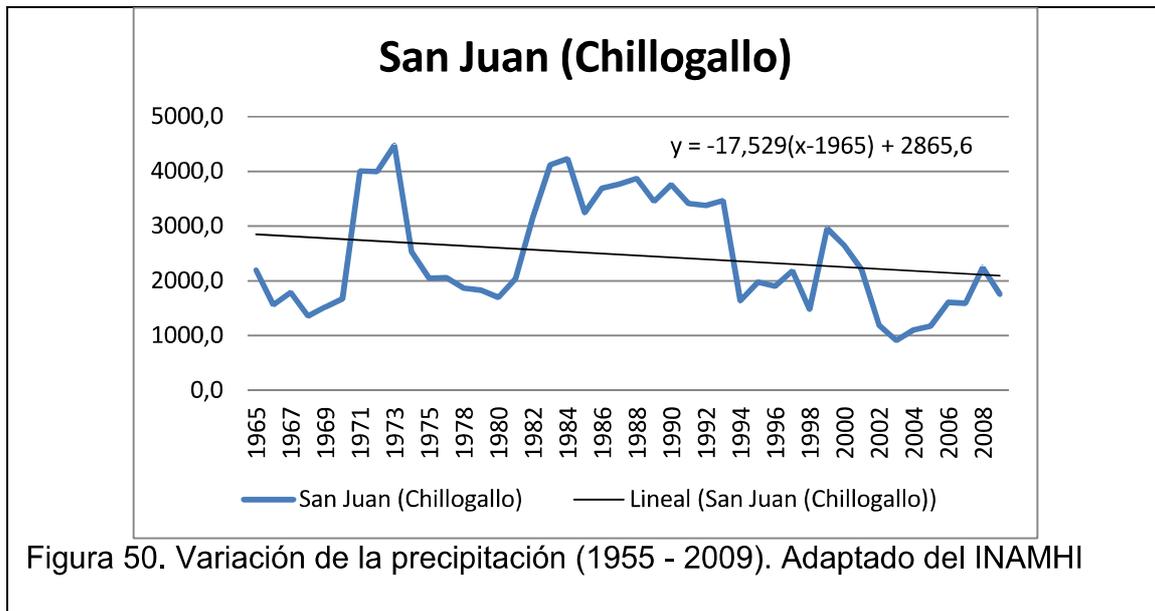
Calderón (M345): Esta estación se ubica en la zona nororiental fuera de la ciudad. Con 51 años de registros es una de las estaciones que cuenta con mayor información. Su disminución se aproxima a 80 mm (figura 48) y se pronostica para el año 2020 una precipitación media anual aproximada a los 511 mm y para el año 2050 alrededor de 462 mm.



Tumbaco (M114): Ubicada próxima a la estación de La Tola. Sus registros datan desde 1964 hasta 2003, son 41 años. En este periodo de tiempo se observa una reducción aproximada 350 mm (figura 49). Su tendencia sugiere que en el año 2020 la precipitación alcanzaría los 709 mm y 481 mm en el año 2050. Es una reducción importante.



San Juan - Chillogallo (M354): Se encuentra en la zona suroccidental fuera de la ciudad. Cuenta con 49 años de registros y en estos se evidencia una disminución de 800 mm en la precipitación media (figura 50). Es la zona que más rápido cambia su régimen de precipitación y para el año 2020 su condición sería de 1928 mm y de 1432 mm aproximadamente para el año 2050.



La variabilidad de las tendencias a lo largo del DMQ nos recuerda que la ciudad posee diversos micro - climas y cada uno de estos presenta ciertas características particulares. Sin embargo podemos anunciar que las precipitaciones desde la zona centro de la ciudad hacia el norte tienden a aumentar, mientras que en el centro - sur la estación de San Juan (Chillogallo) tiende a disminuir para luego dar paso a una tendencia al aumento en el límite sur de la ciudad (Izobamba).

Notablemente en las zonas circundantes a la ciudad como Calacalí, Calderón y los valles orientales del DMQ (Tumbaco, Quinche), tienden a disminuir.

2.3.1.3. Análisis de la precipitación en terrazas

Debido a que no existe ninguna relación entre la altitud y la precipitación, es perfectamente atribuible los valores obtenidos de las estaciones climatológicas que posee la Secretaria de Ambiente del Municipio de Quito, al análisis global de la precipitación junto con las otras estaciones que no se encuentran en terraza. Sin embargo se evalúa su comportamiento debido a que estas se ubican en lugares estratégicos dentro de la ciudad (2006-2012).

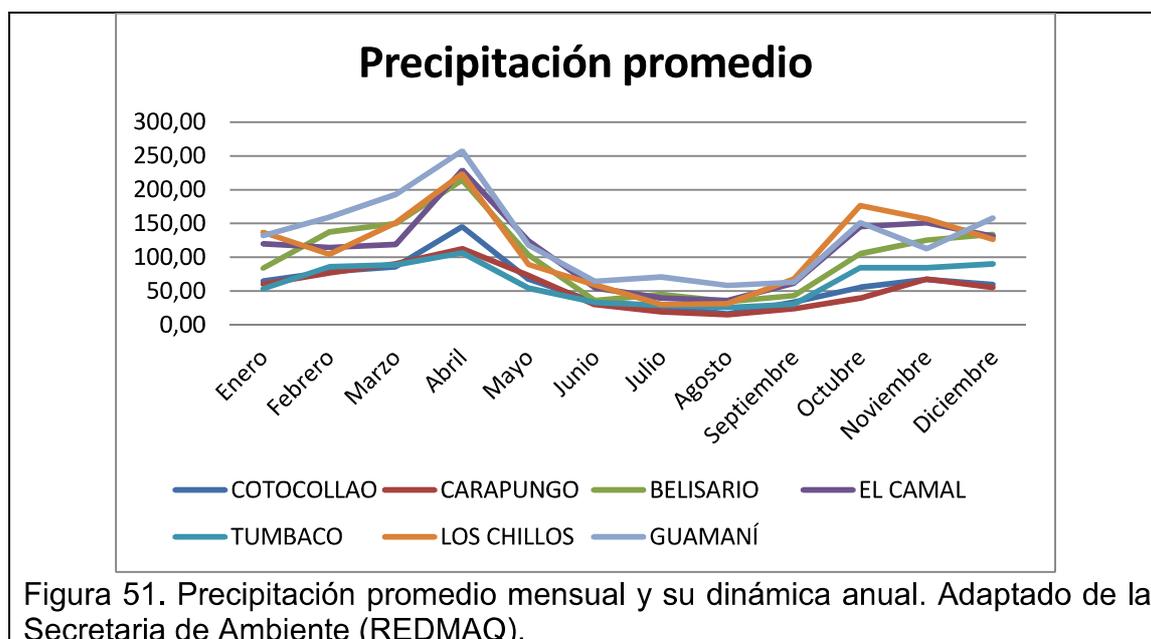
La estación dentro de la ciudad que menos precipitaciones presenta es Cotocollao (COT), con dirección hacia el sur desde el sector de Belisario (BEL) ya se registran mayores precipitaciones, seguida del Camal (CAM) y luego Guamaní (GUA) al extremo sur de la ciudad. La dinámica registrada es similar a la hallada en los literales (3.3.1.1. y 3.3.1.2.)

Rango: 16.17 mm. - 257 mm.

Tabla 25. Precipitación promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.

Código	Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
COT	COTOCOLLAO	64,77	78,72	85,75	145,25	67,62	34,05	27,25	16,17	33,48	55,48	67,14	59,93
*CAR	CARAPUNGO	60,44	76,88	90,52	112,60	73,10	29,85	19,60	14,70	24,07	39,38	67,56	55,07
BEL	BELISARIO	83,73	137,30	149,80	213,82	103,22	35,72	44,92	34,63	43,32	105,35	125,44	133,63
CAM	EL CAMAL	120,01	114,23	118,82	228,48	123,96	54,74	39,52	35,73	61,63	145,27	150,83	130,71
*TUM	TUMBACO	53,24	85,98	88,92	106,68	54,33	33,03	29,18	25,88	30,52	84,53	84,59	90,16
*LCH	LOS CHILLOS	136,90	104,10	151,07	223,03	89,02	59,17	30,17	31,17	68,27	176,23	156,63	126,46
GUA	GUAMANÍ	132,08	159,63	192,95	257,08	117,78	64,25	70,88	58,53	63,07	150,96	112,76	157,84

Nota: El color azul oscuro representa el mayor valor de precipitación, el celeste el segundo. Para las estaciones que registraron los valores más bajos se los marcó con amarillo y verde respectivamente. * Las estaciones se encuentran fuera de la ciudad.



2.3.2. Temperatura Media

Para el análisis de la temperatura media se elaboraron mapas de isotermas a partir del empleo del gradiente altitudinal explicado en el marco teórico (inciso 1.3.5.4), en ellos se representa el comportamiento de la variable para cada uno de los meses del año, se determinaron los rangos que se presentan a lo largo de la ciudad; además se analizó las series de datos de las estaciones con mayor número de registros con el objeto de verificar su tendencia.

2.3.2.1. Isotermas

Enero, febrero, marzo y abril

Desde el sur de la ciudad hasta la zona centro - oeste se presentan temperaturas medias que van desde los 11,5° hasta los 12 °C, desde aquí hasta el norte la temperatura media aumenta hasta los 14 °C y en la zona noroccidental de la ciudad se puede llegar casi hasta los 15 °C (figuras 52 - 55).

Rango: 11.5° - 15 °C.

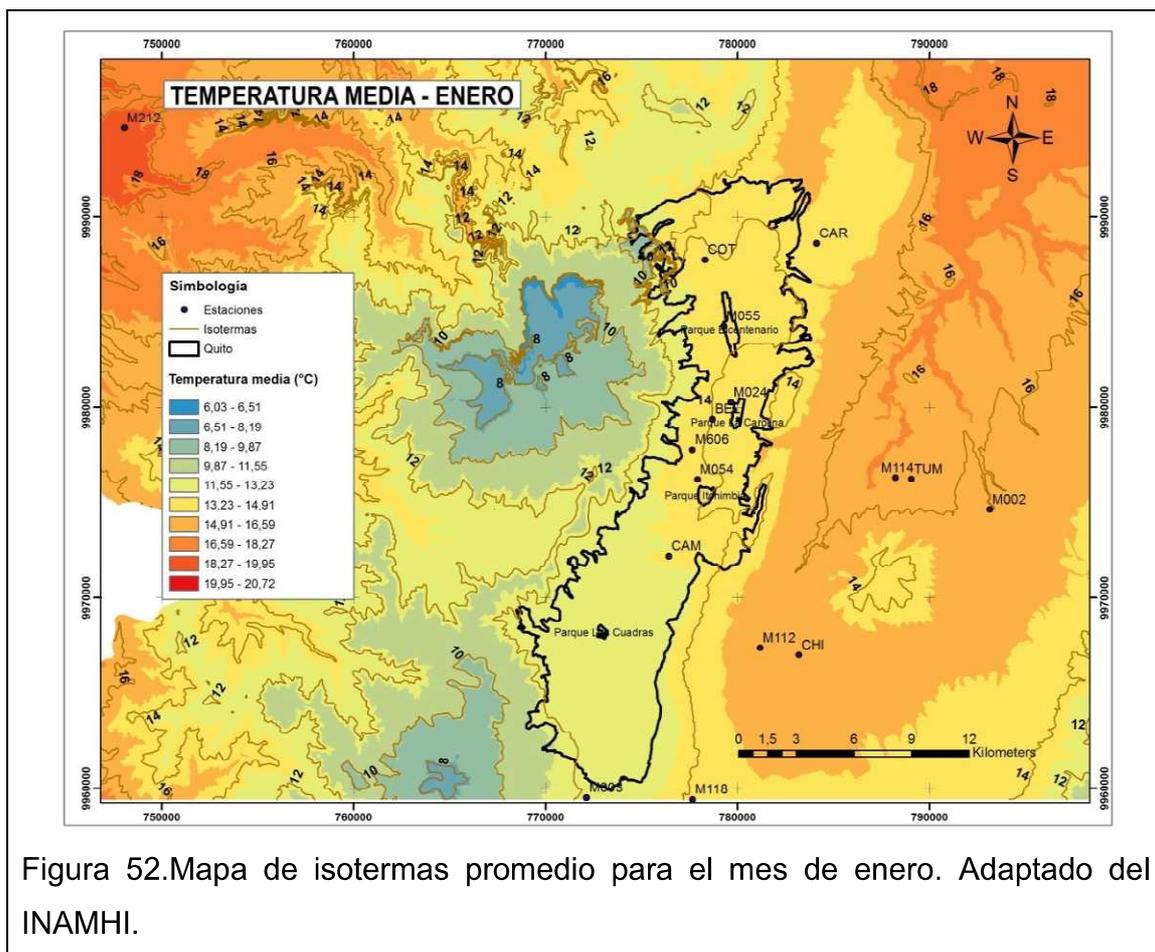
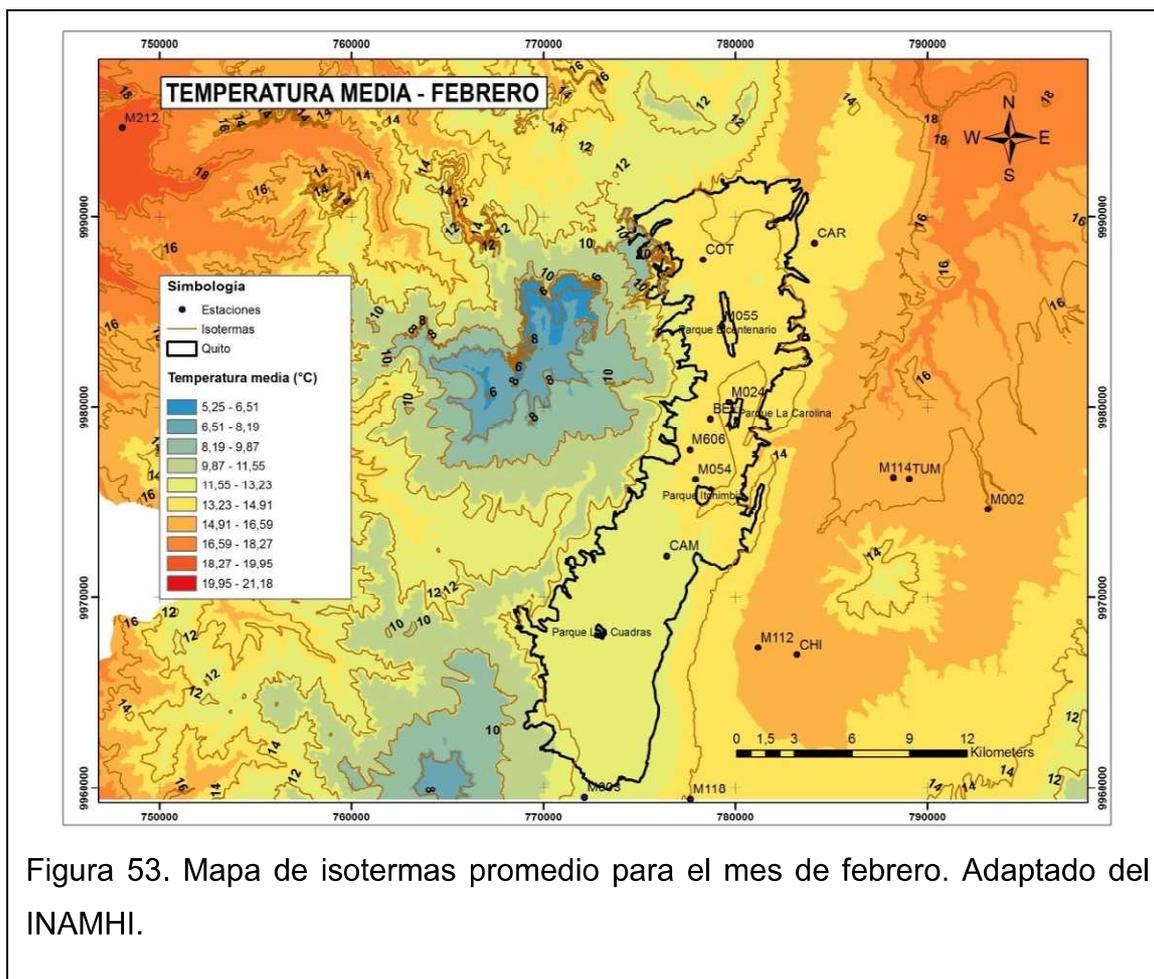


Figura 52. Mapa de isothermas promedio para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.



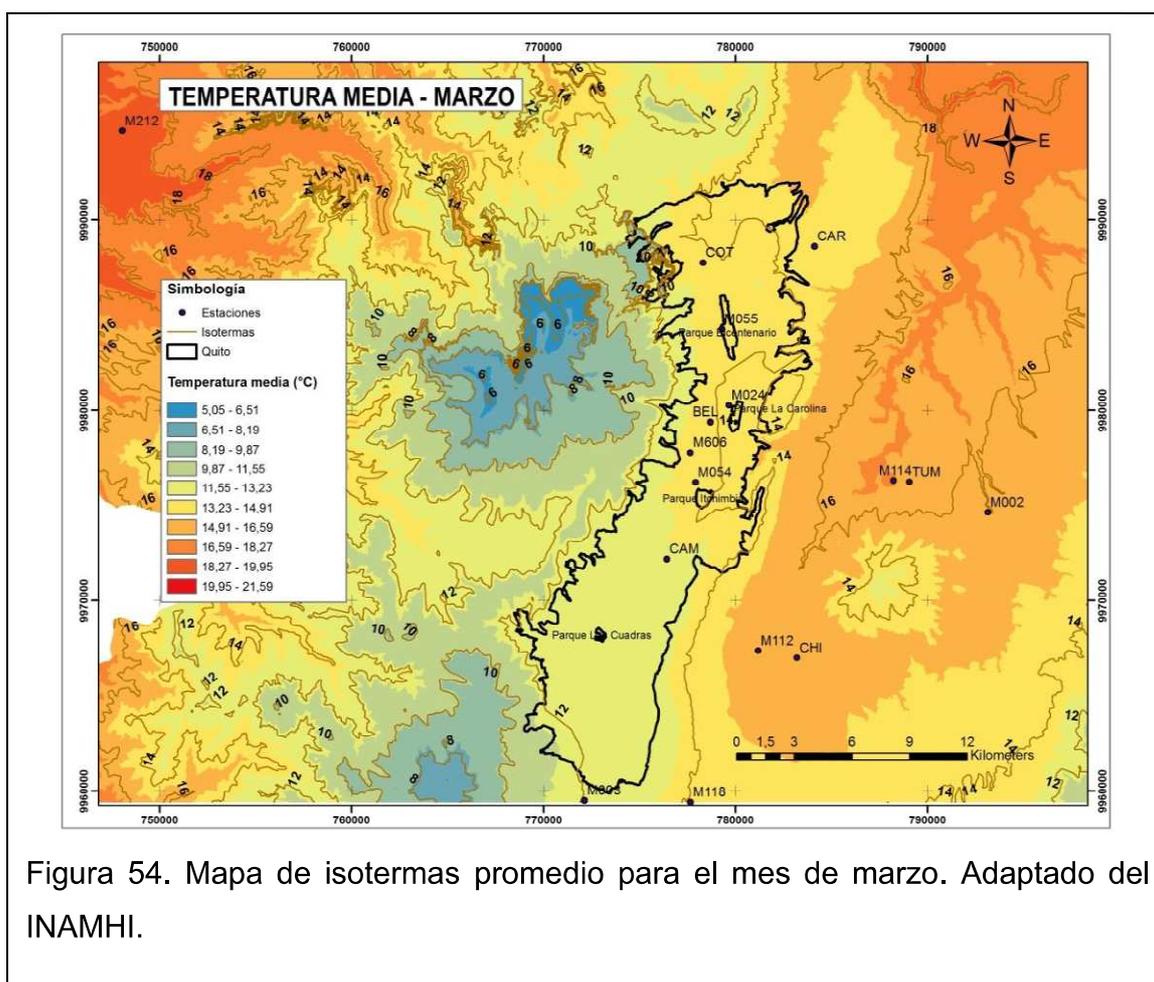
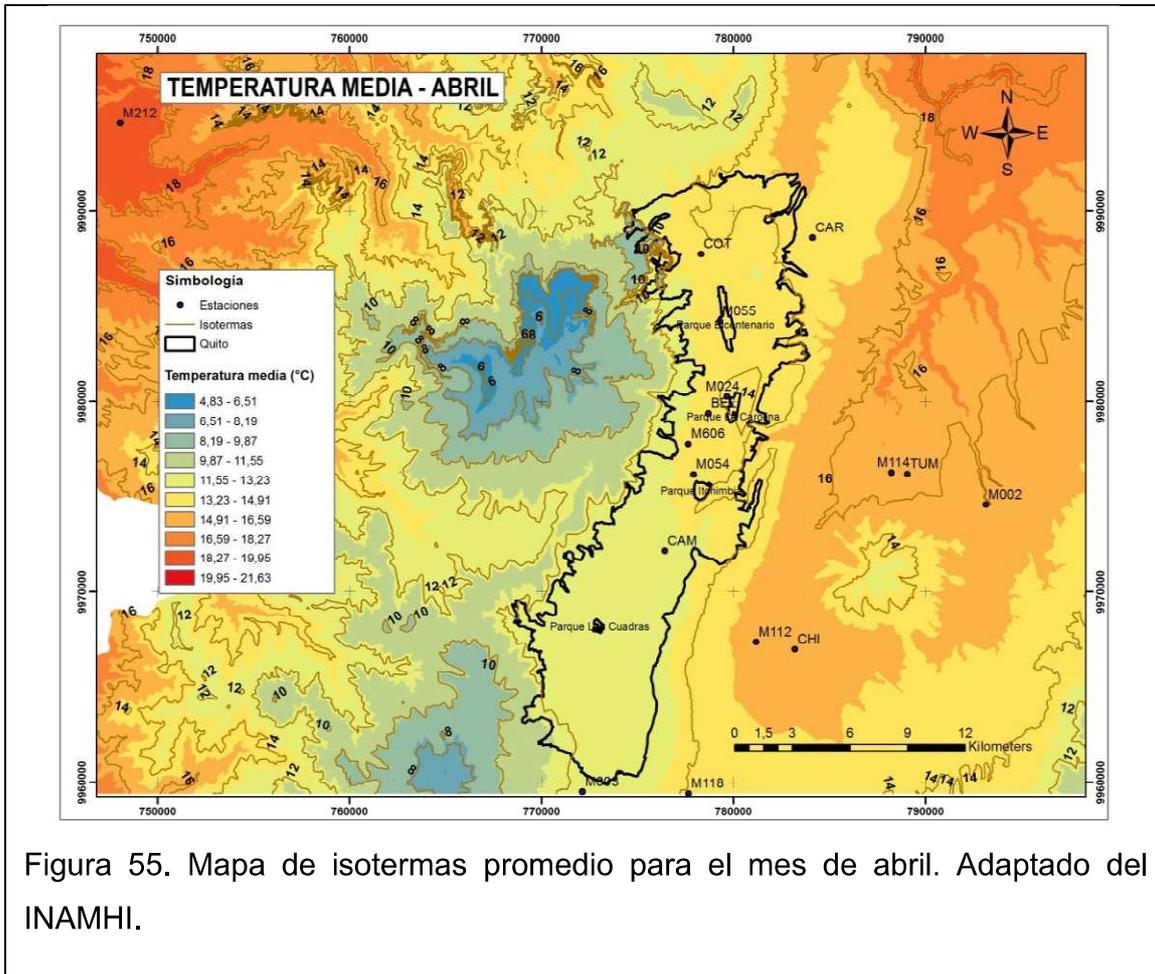


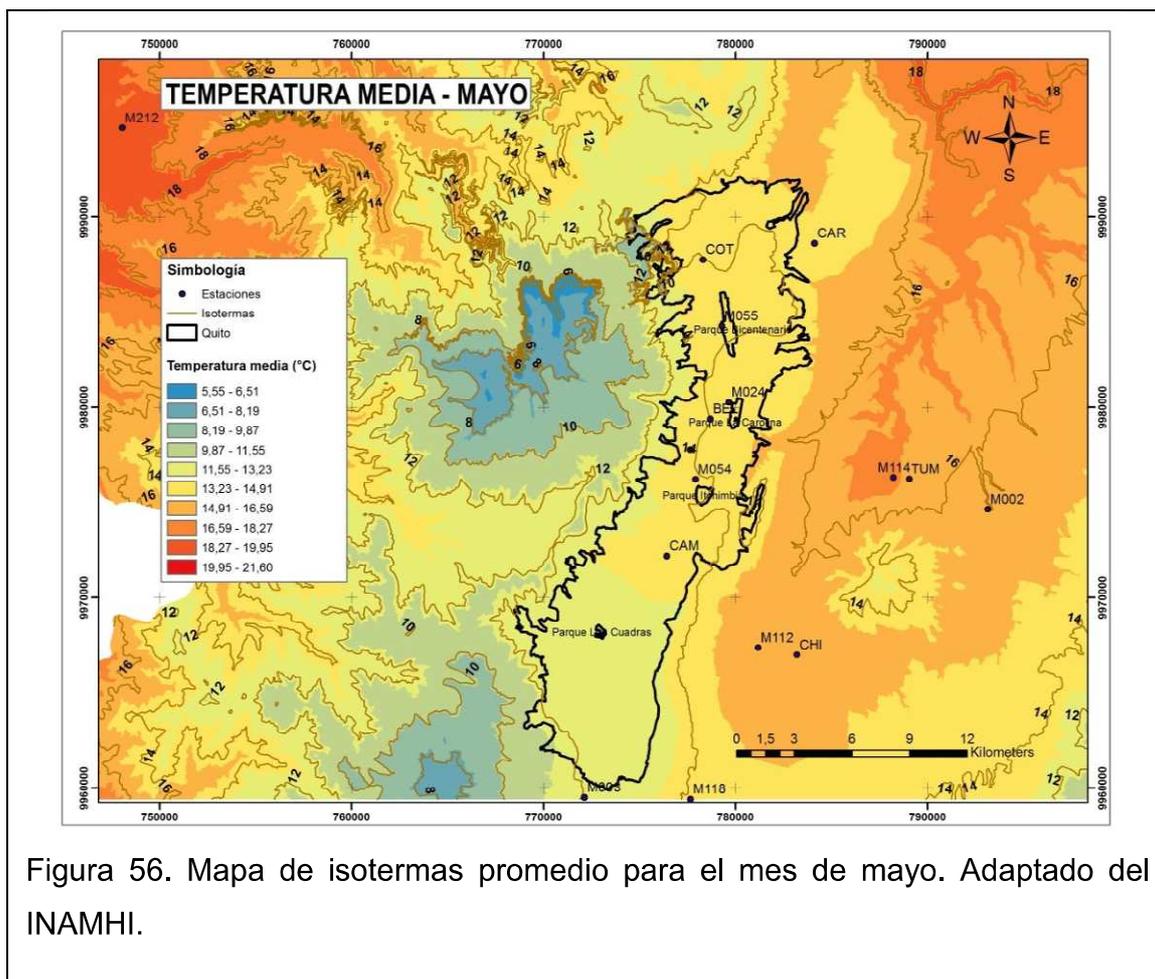
Figura 54. Mapa de isotermas promedio para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.

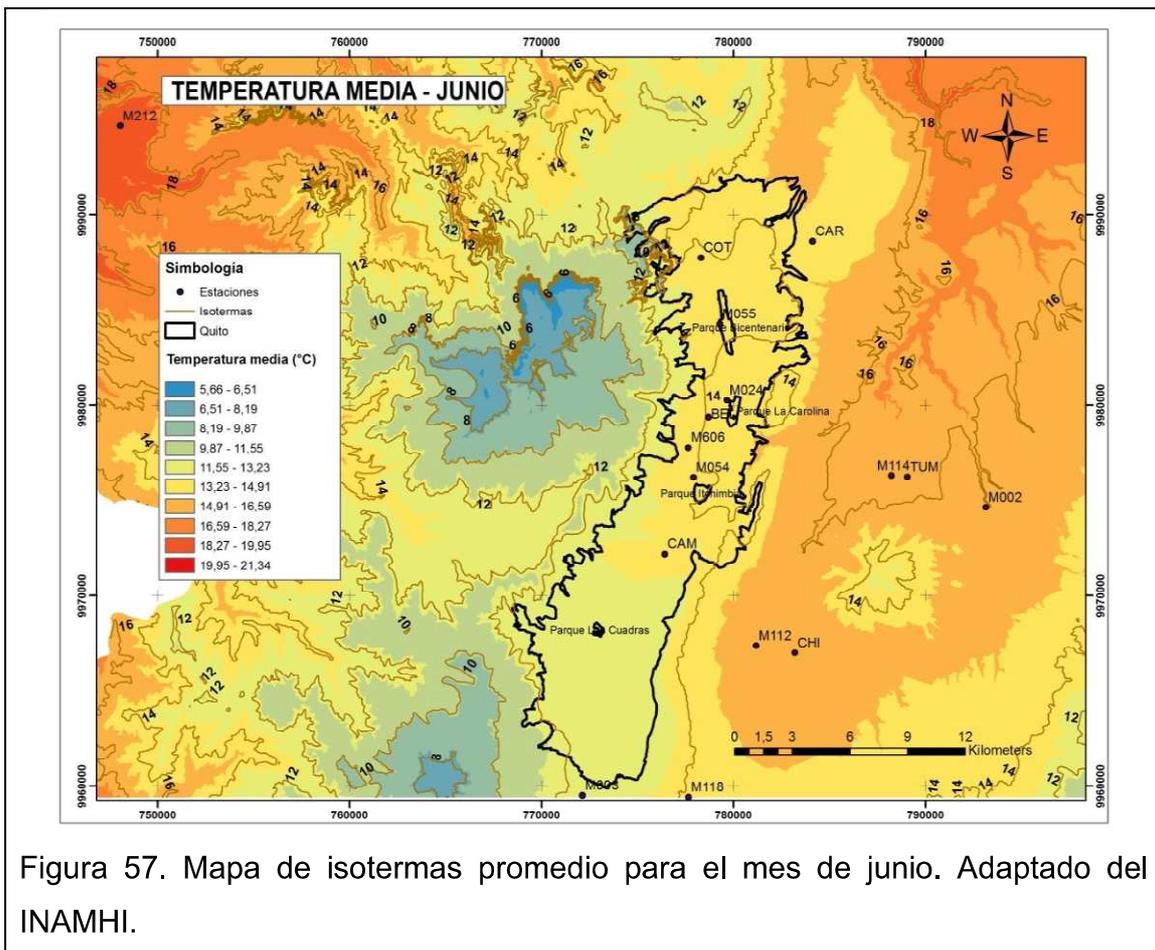


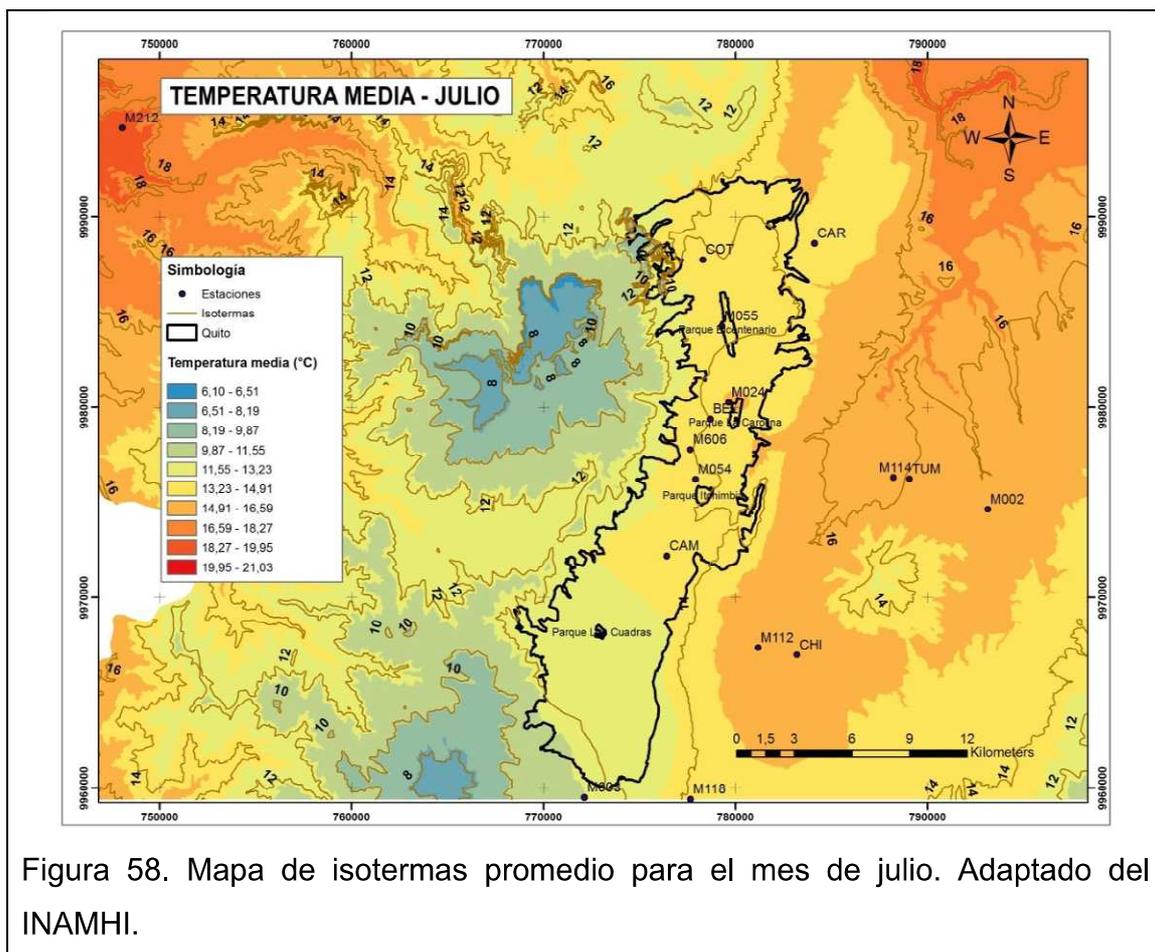
Mayo, junio, julio, agosto y septiembre

Desde el sur de la ciudad hasta la zona centro - sur se presentan temperaturas medias que van desde los 11,5° hasta los 13 °C, es decir la zona cálida de la ciudad que en meses anteriores correspondía al norte se presenta en toda la parte central de la ciudad, desde este punto hasta el norte la temperatura media aumenta hasta los 14 °C y en la zona noroccidental de la ciudad se puede llegar casi hasta los 15 °C (figuras 56 - 60).

Rango: 11.5° - 15 °C.







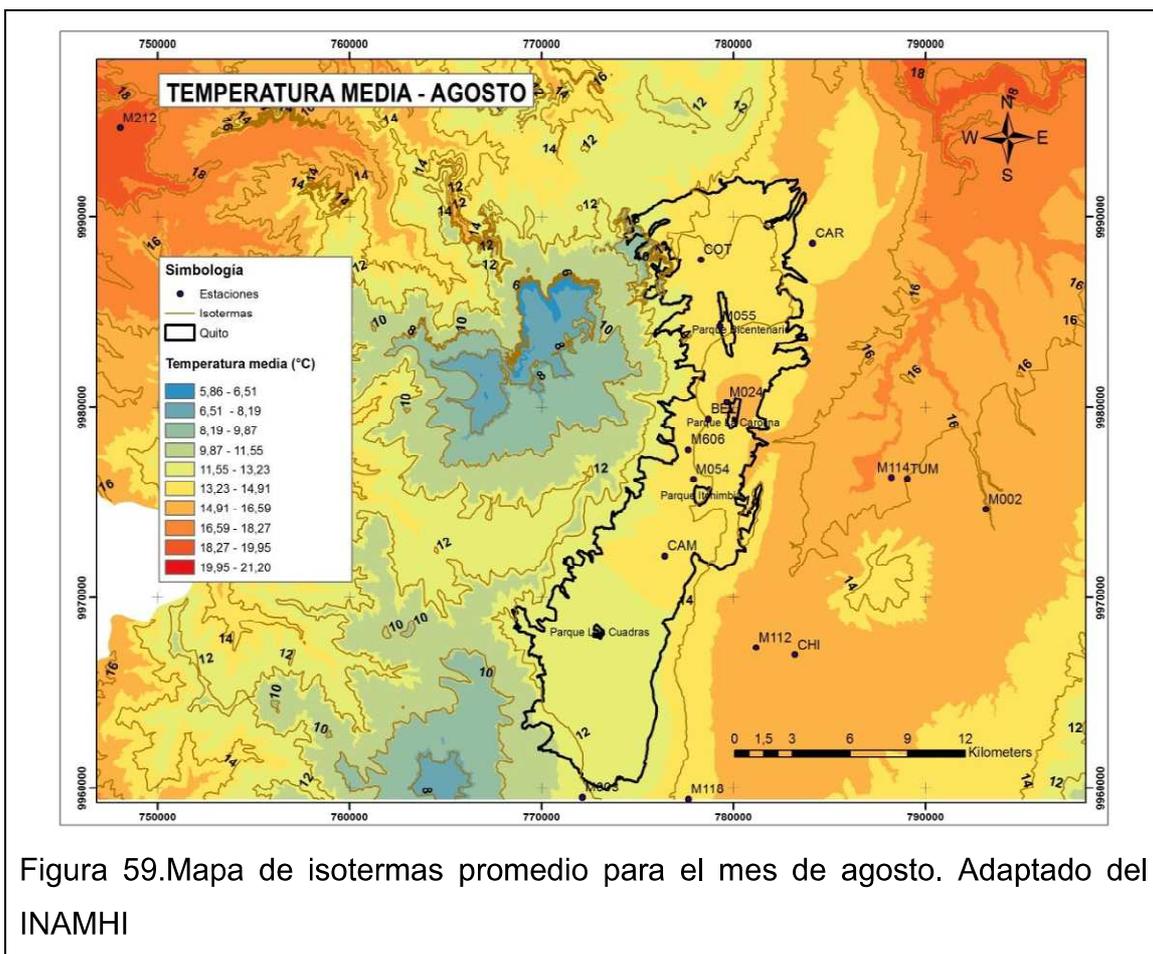
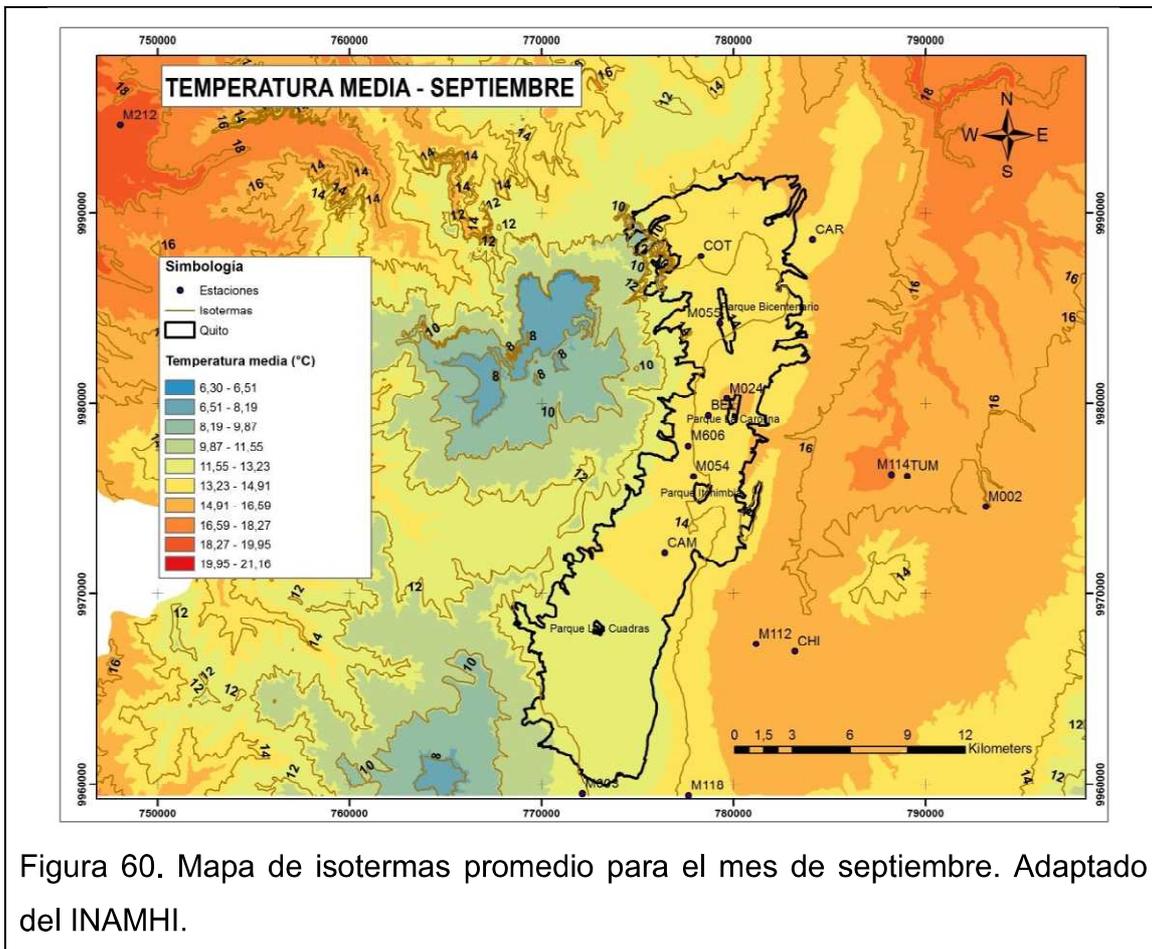


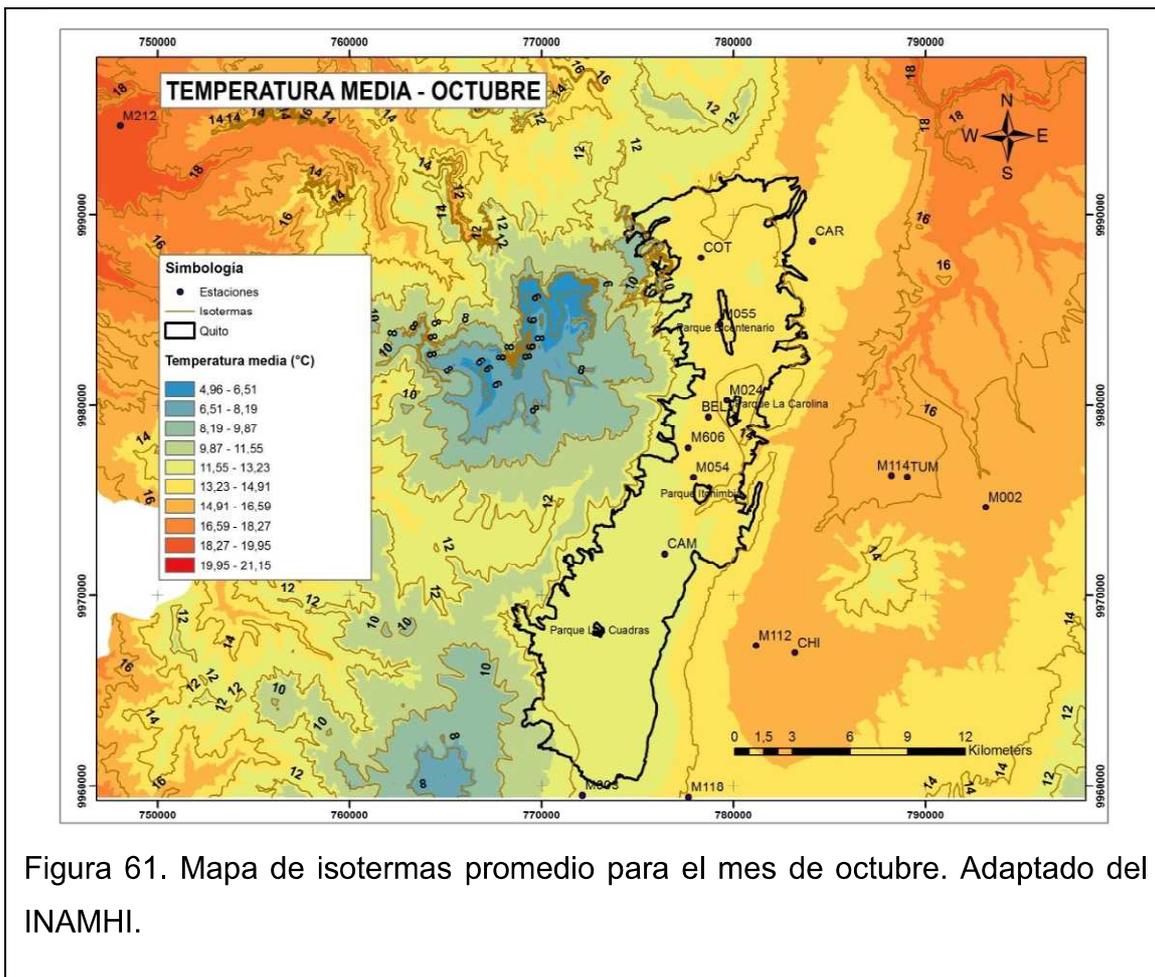
Figura 59. Mapa de isotermas promedio para el mes de agosto. Adaptado del INAMHI

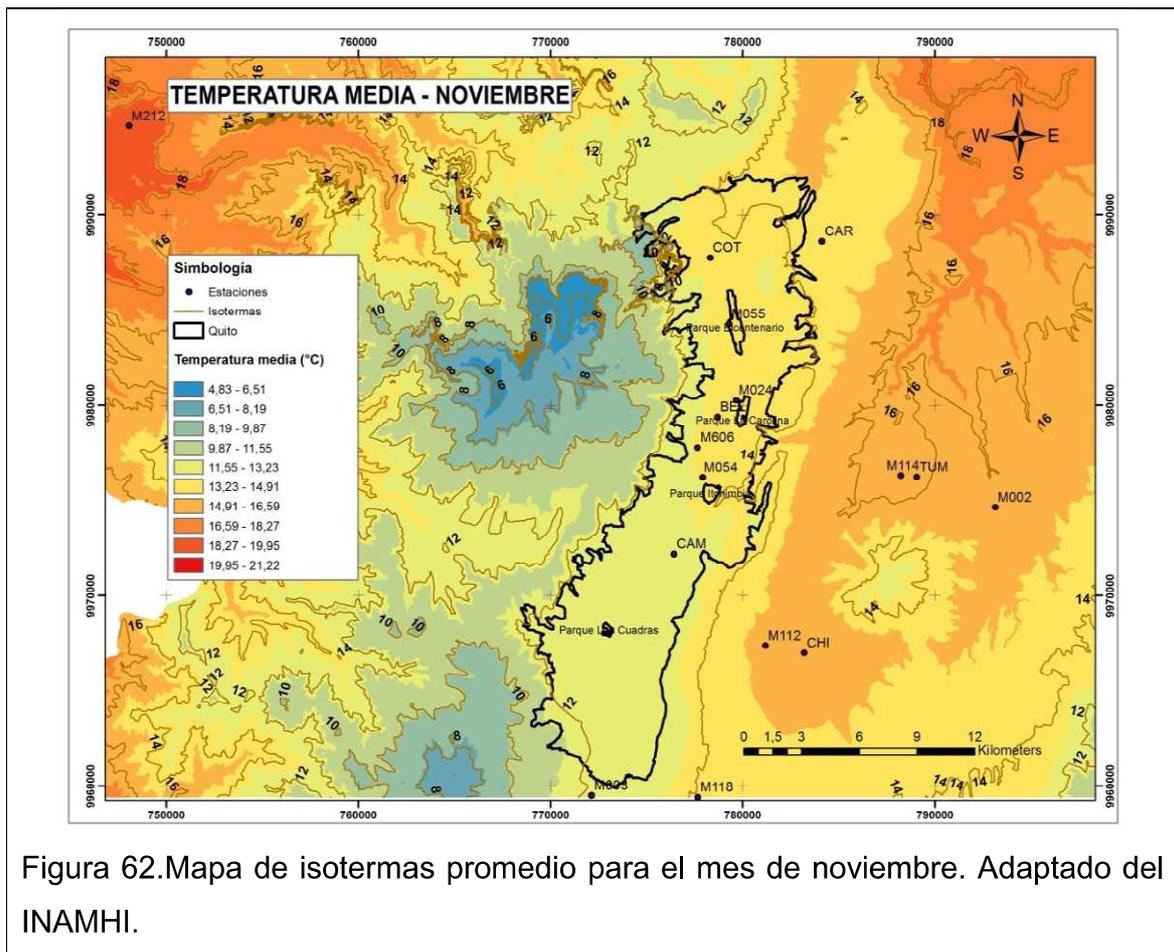


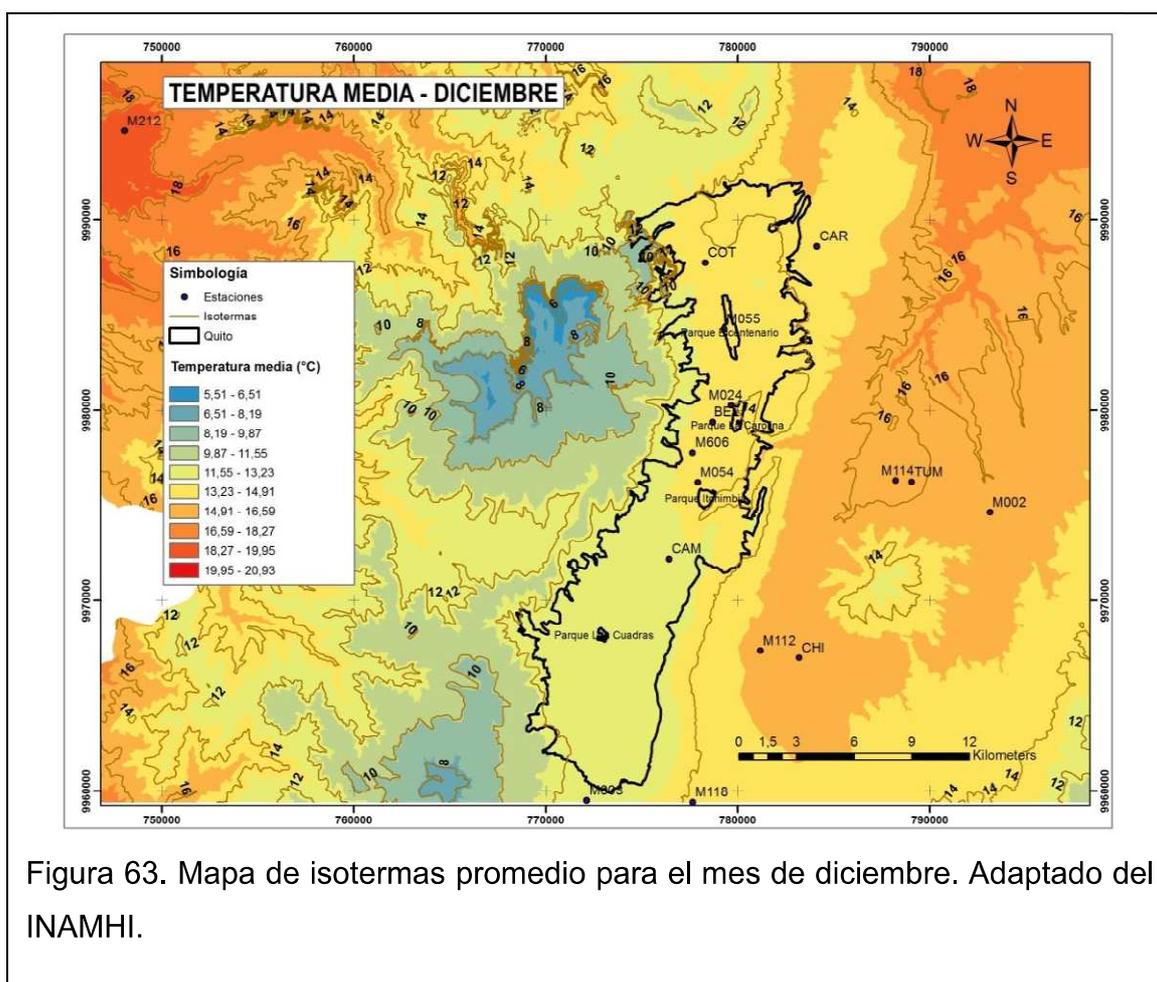
Octubre, noviembre y diciembre

El comportamiento de la temperatura media en estos meses es semejante a los meses de Enero - Abril. Las temperaturas más bajas se registran en la zona suroccidental (11.5 °C) hasta llegar a la zona central suroriental (Camal) donde alcanza los 13.2 °C este rango permanece constante hasta la zona central noroccidental de la ciudad, en las estribaciones del macizo del Pichincha, continuando hacia el norte con un aumento hasta los 15 °C en la zona nororiental de la ciudad (figuras 61 - 63).

Rango: 11.5 – 15°C.







2.3.2.2. Tendencias de la temperatura media

La Tola (M002): Esta estación está ubicada en los valles orientales del DMQ. Sus registros datan desde el año 1980, es decir, 29 años. Su tendencia aunque mínima es hacia el incremento de la temperatura, 0.1 °C de aumento (figura64). El pronóstico para el año 2020 se estima en 15,69 °C y 15,79 °C para el año 2050.

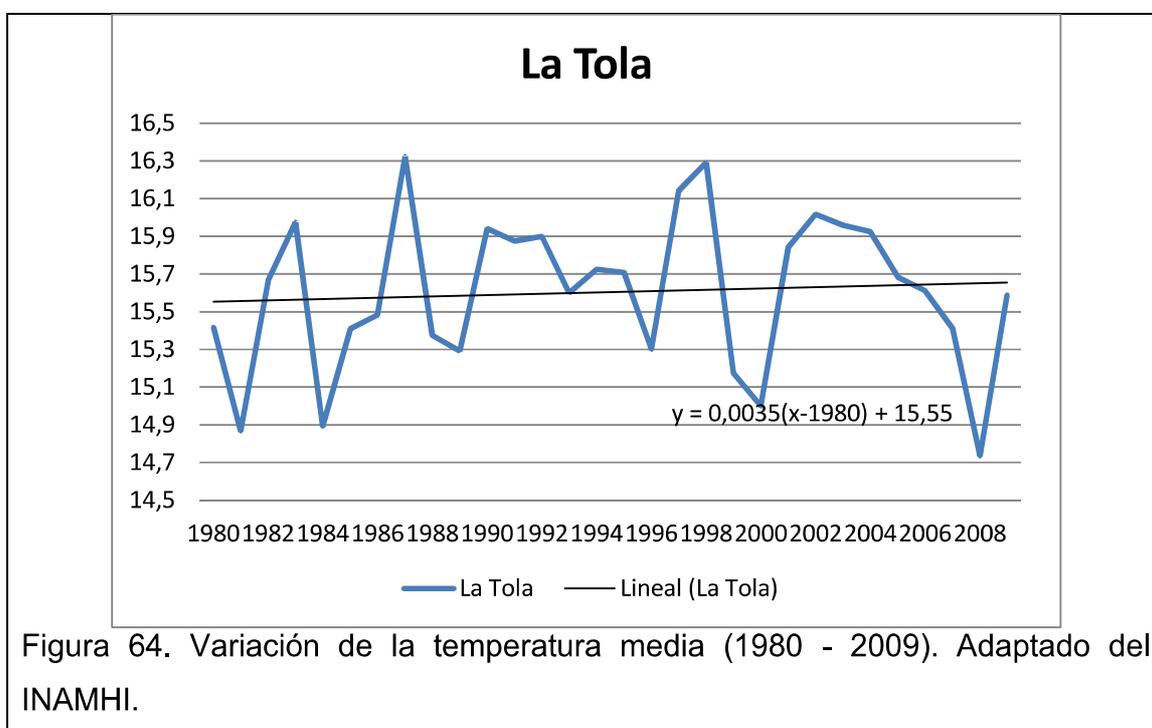


Figura 64. Variación de la temperatura media (1980 - 2009). Adaptado del INAMHI.

Izobamba (M003): Ubicada en la zona sur del DMQ, marca un incremento de la temperatura media en 0.8 °C aproximadamente. Son 25 años de registros de promedios anuales de la temperatura media que denotan su aumento (figura 60). El cálculo del pronóstico para el año 2020 es de 12.25 °C y para el año 2050 de 12.69 °C.

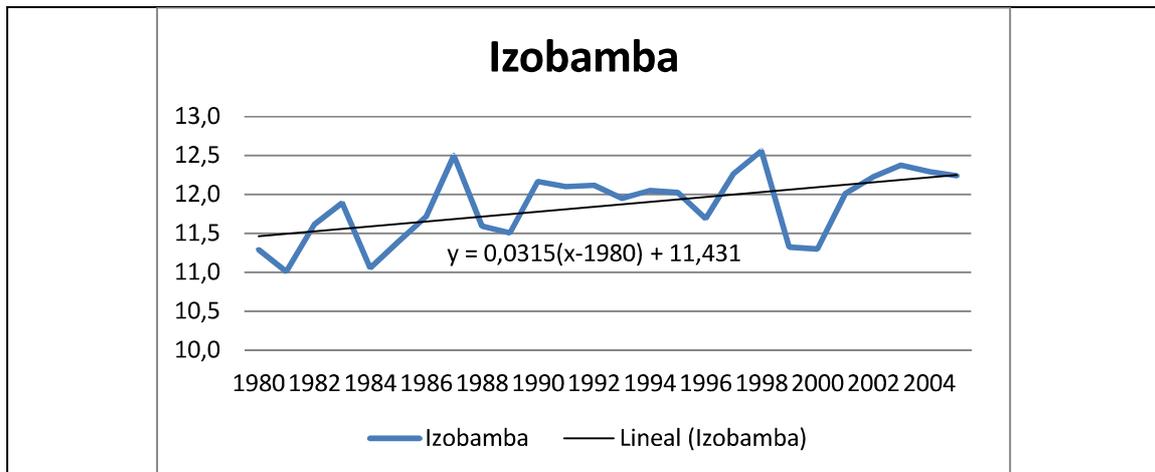


Figura 65. Variación de la temperatura media (1980 - 2005). Adaptado del INAMHI.

Iñaquito (M024): Se ubica en la zona centro norte de la ciudad en la calle Iñaquito. En 33 años de registros, la tendencia marca una elevación de 1.2 °C figura (61). Su valor de incremento es muy similar al que afecta a Izobamba, se pronostica que en el año 2020 la temperatura media anual sería de 15.67°C y de 16.72 °C, este esta sería una de las zonas más cálidas de la ciudad.

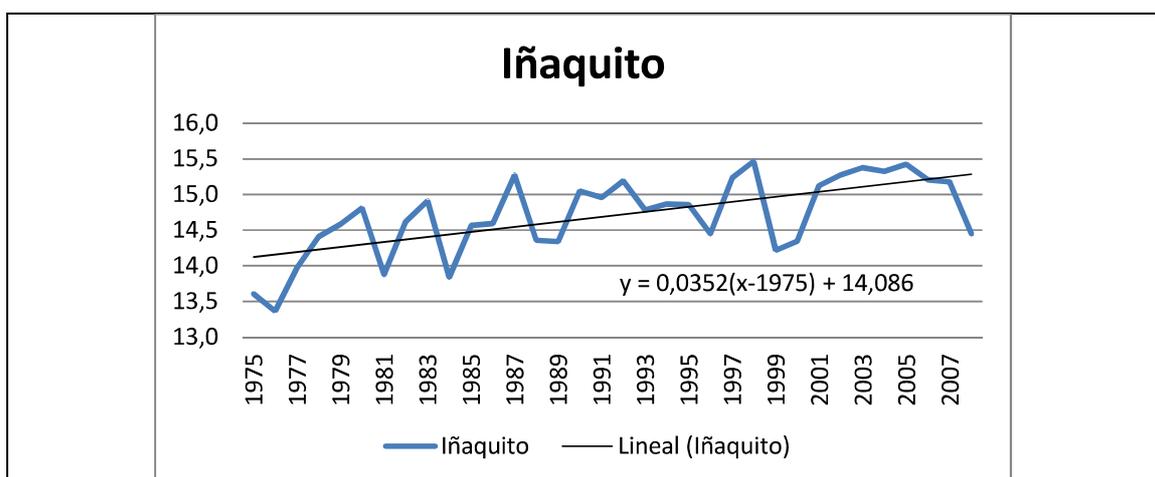
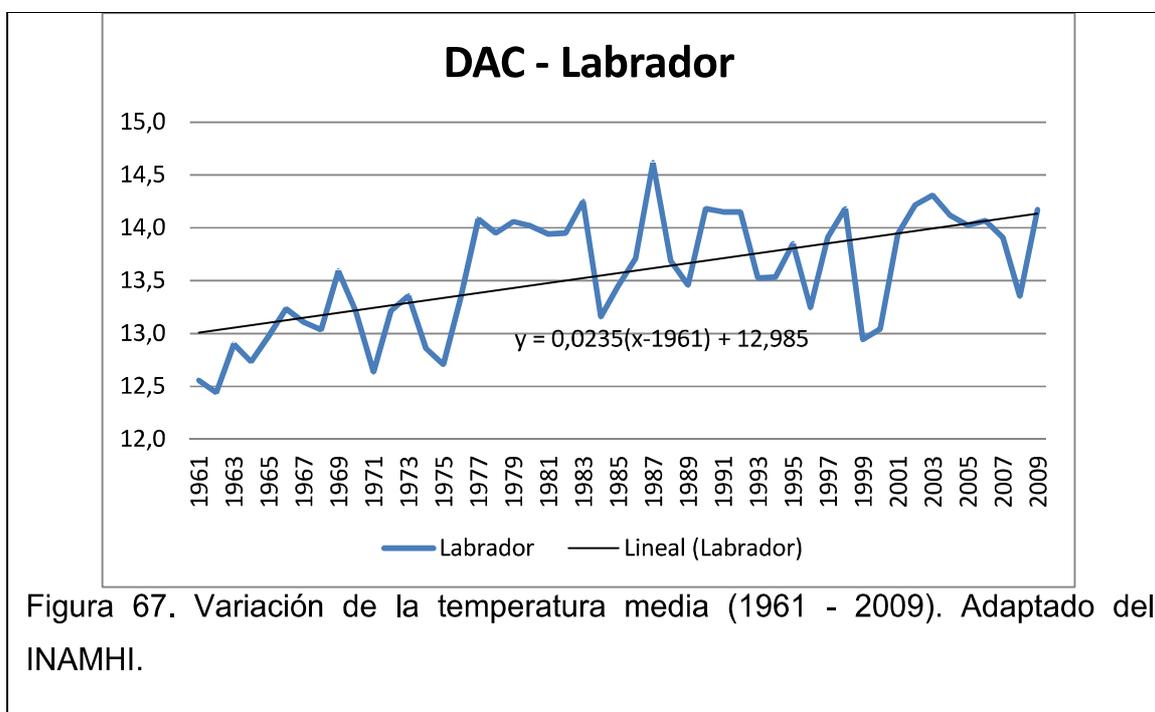


Figura 66. Variación de la temperatura media (1975 - 2008). Adaptado del INAMHI.

DAC - Labrador (M055): Se ubica en el parque bicentenario, antiguo aeropuerto Mariscal Sucre (norte de la ciudad). Sus registros corresponden a 49 años y su temperatura se ha incrementado en 1.2 °C aproximadamente (figura 62). Según la tendencia se calcula que en el año 2020 la temperatura media registraría valores próximos a los 14.39 °C y 15.1 °C para el año 2050.



Tumbaco (M114): Estación ubicada en uno de los valles orientales del DMQ, al este de la ciudad. Su tendencia marca una regularidad y no se denota aumento o descenso. El pronóstico corrobora lo que acontece y así en el año 2020 permanecería la temperatura cercana a los 16.76°C y 16.8°C para el año 2050.

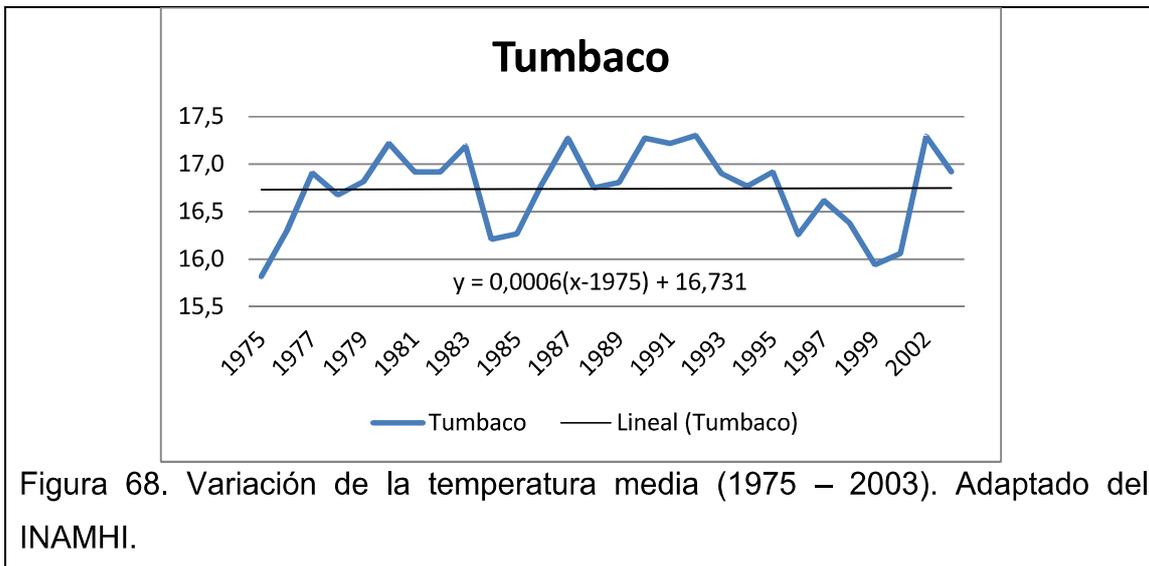


Figura 68. Variación de la temperatura media (1975 – 2003). Adaptado del INAMHI.

Conocoto (M112): Ubicada en las periferias de la zona sur oriental de la ciudad. Es una estación que se encuentra en uno de los valles orientales del DMQ. Su análisis se basa en un registro de 30 años y denota un aumento en la temperatura media en alrededor de 0.6 °C (figura 64). Se pronostica que en el año 2020 la temperatura sería 16.39 °C y 17.05 °C en el año 2050.

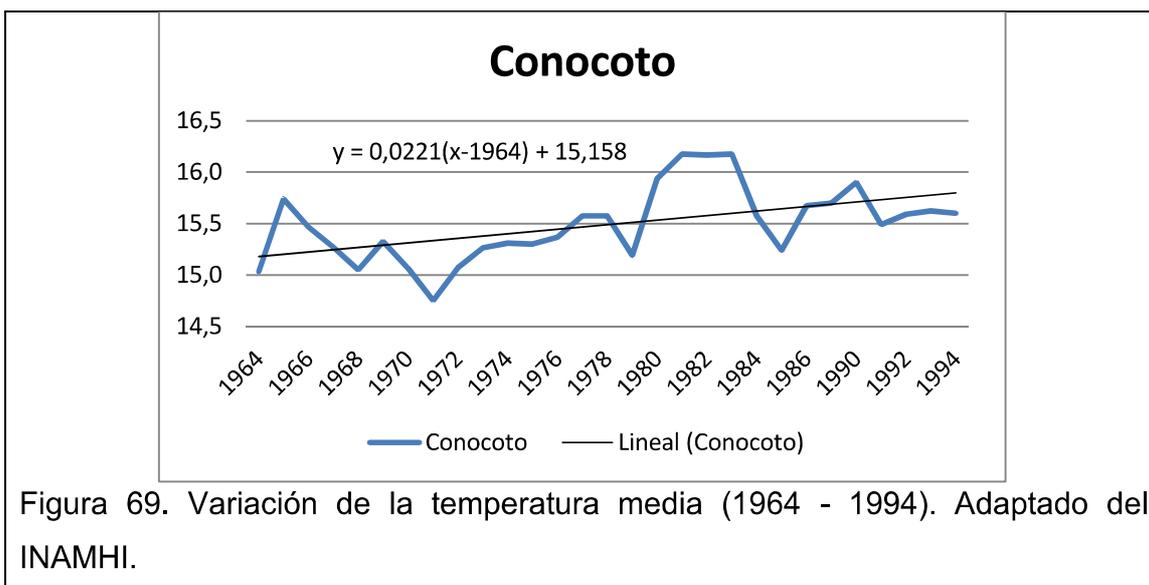


Figura 69. Variación de la temperatura media (1964 - 1994). Adaptado del INAMHI.

Observatorio (M054): Esta ubicado centro del parque Alameda en el centro de la ciudad, rodeada de un entorno natural dentro de la urbe. Sus registros en el tiempo demuestran un ligero incremento de la temperatura media en 0.65 °C aproximadamente (figura 65). Su pronóstico para el año 2020 se calcula en 14.88°C aproximadamente y 15.66°C para el año 2050.

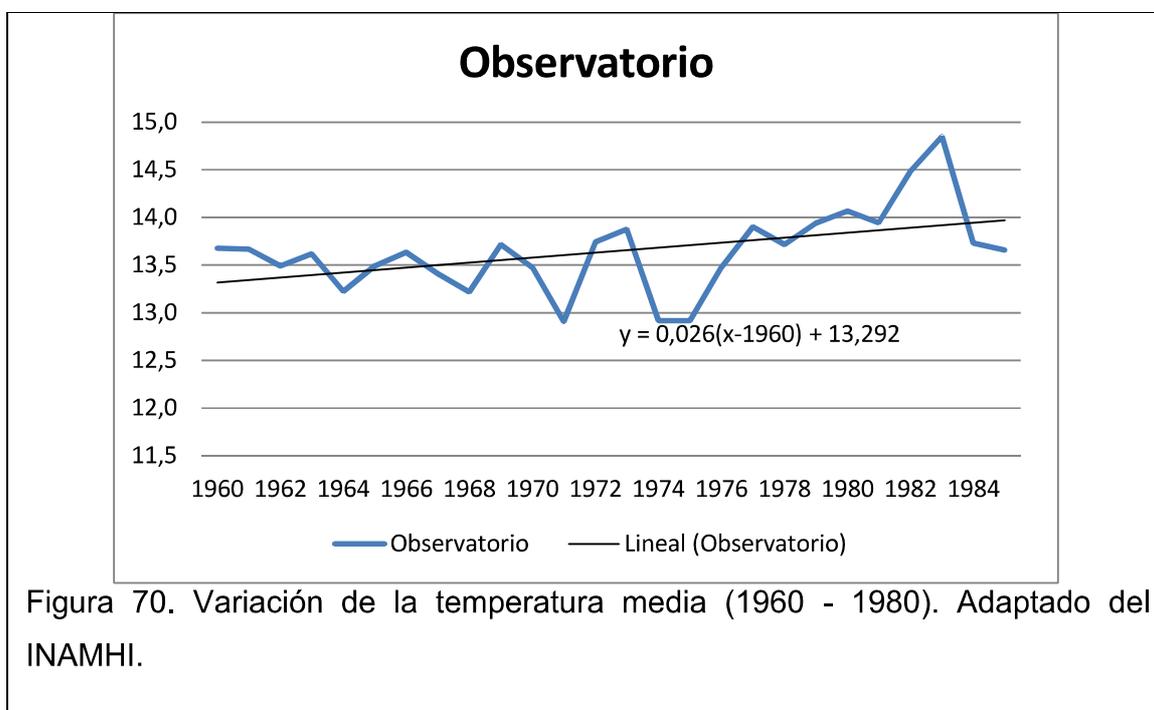


Figura 70. Variación de la temperatura media (1960 - 1980). Adaptado del INAMHI.

En resumen, todas las estaciones que cuentan con registros superiores a 30 años fueron consideradas para el análisis y cada una de ellas, excepto Tumbaco y La Tola, presentan una tendencia al aumento de las temperaturas, especialmente las que se encuentran ubicadas en la zona centro norte de la ciudad (figura 64 y 65), estas presentan cambios y se pronostica aumento para los próximos años.

2.3.2.3. Análisis de la temperatura media en terrazas

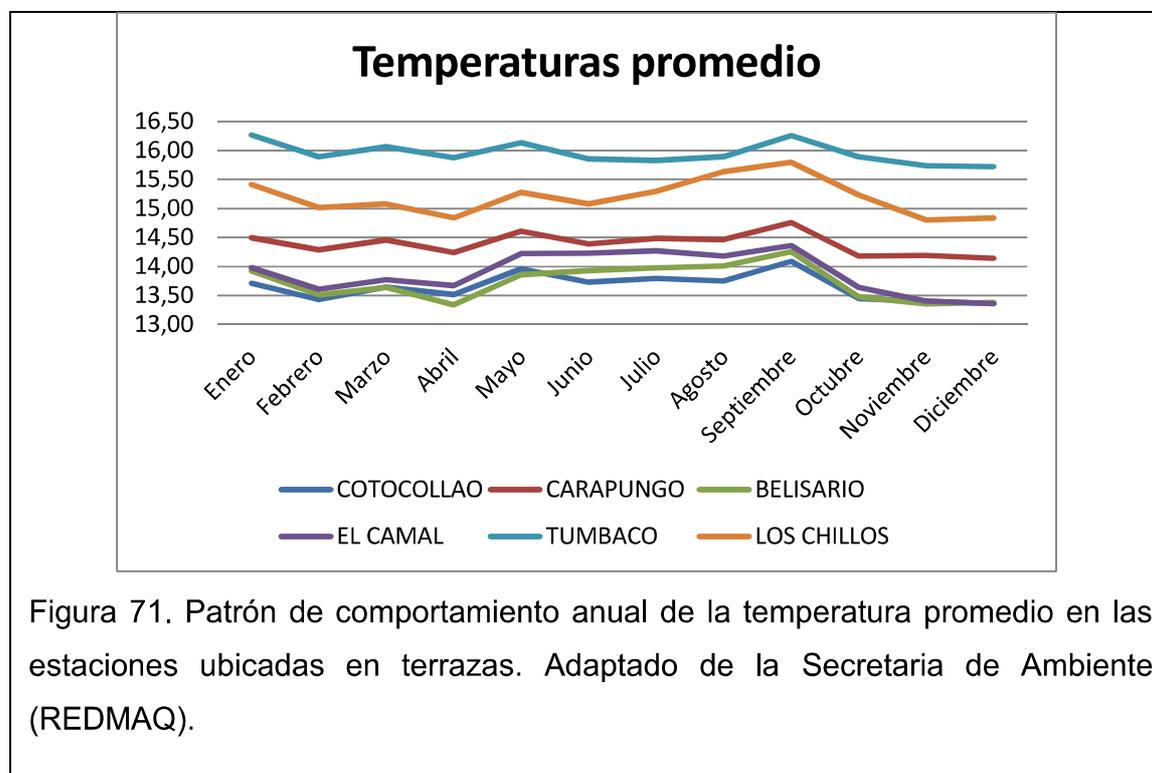
El comportamiento de la variable dentro la ciudad es relativamente homogénea. Así el lugar más cálido en promedio es el Camal, luego Belisario y Cotocollao es el más frío (figura 71), en la época seca este patrón se modifica levemente.

Rango: 13.34° - 14.27°C

Tabla 26. Temperatura promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
COTOCOLLAO	13,72	13,43	13,64	13,52	13,96	13,73	13,80	13,75	14,09	13,45	13,41	13,36
*CARAPUNGO	14,50	14,28	14,46	14,24	14,61	14,39	14,48	14,47	14,76	14,18	14,19	14,14
BELISARIO	13,92	13,51	13,64	13,34	13,86	13,93	13,98	14,01	14,26	13,48	13,36	13,38
EL CAMAL	13,98	13,61	13,78	13,67	14,22	14,23	14,27	14,18	14,36	13,64	13,40	13,36
*TUMBACO	16,27	15,89	16,06	15,88	16,13	15,85	15,83	15,89	16,26	15,89	15,74	15,72
*LOS CHILLOS	15,42	15,01	15,08	14,84	15,28	15,08	15,30	15,64	15,79	15,23	14,80	14,84

Nota: El color rojo representa el mayor valor medio de temperatura, el naranja el segundo, los valores más bajos se los marcó con amarillo. * Las estaciones se encuentran fuera de la ciudad.



2.3.3. Temperatura Máxima

Se realizaron dos tipos de análisis, uno para las temperaturas máximas absolutas y otro para las temperaturas máximas promedio, estas últimas son datos registrados por las estaciones meteorológicas de la Secretaría de Ambiente del DMQ (terrazas). Es importante definir su comportamiento debido a que sus valores permitirá definir qué tipo de especies vegetales pueden desarrollarse perfectamente dentro de estos rangos.

Para la elaboración de los mapas se utilizó la metodología de interpolación de las medias móviles (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés), que se encuentra disponible de herramienta en el SIG, ArcGIS.

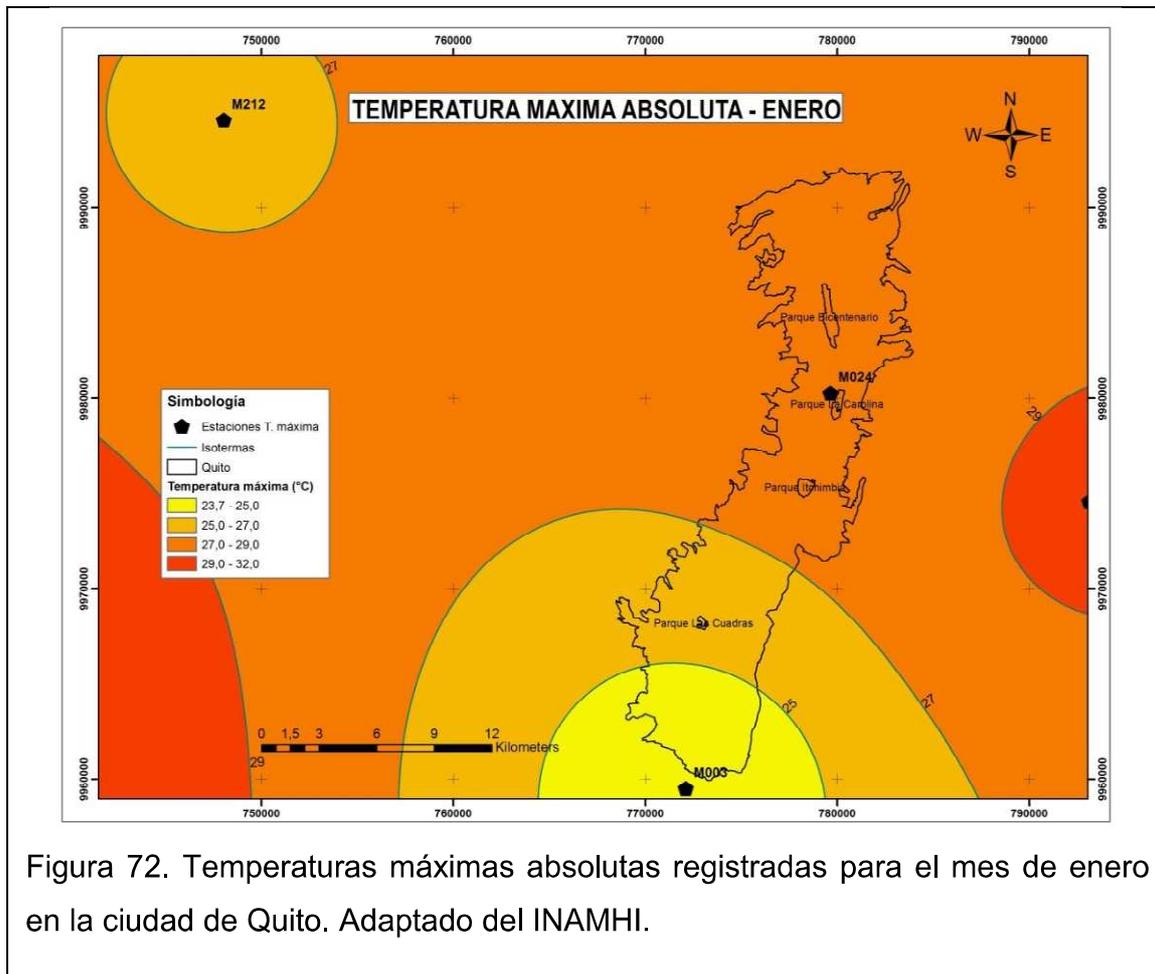
2.3.3.1. Isotermas de máximas absolutas

Los mapas elaborados se realizaron considerando las estaciones que se ubican a nivel del suelo, ya que son las que registran los datos de temperatura máxima absoluta. A partir de los datos mensuales registrados se empleó la metodología IDW para realizar las interpolaciones que permiten el levantamiento de las isotermas respectivas. A diferencia de la temperatura media, los mapas fueron elaborados sin considerar el gradiente altitudinal debido a su baja correlación entre estas dos variables.

Enero

En la zona sur de la ciudad se han registrado las temperaturas máximas absolutas más bajas. Se puede observar (figura 72) que los valores van desde los 23 °C hasta los 27 °C, una variabilidad de 4°C en aproximadamente 13 Km desde el sur hacia el norte. Desde el centro norte de la ciudad hacia el extremo norte se presentan valores que van desde los 27° C hasta 28°C.

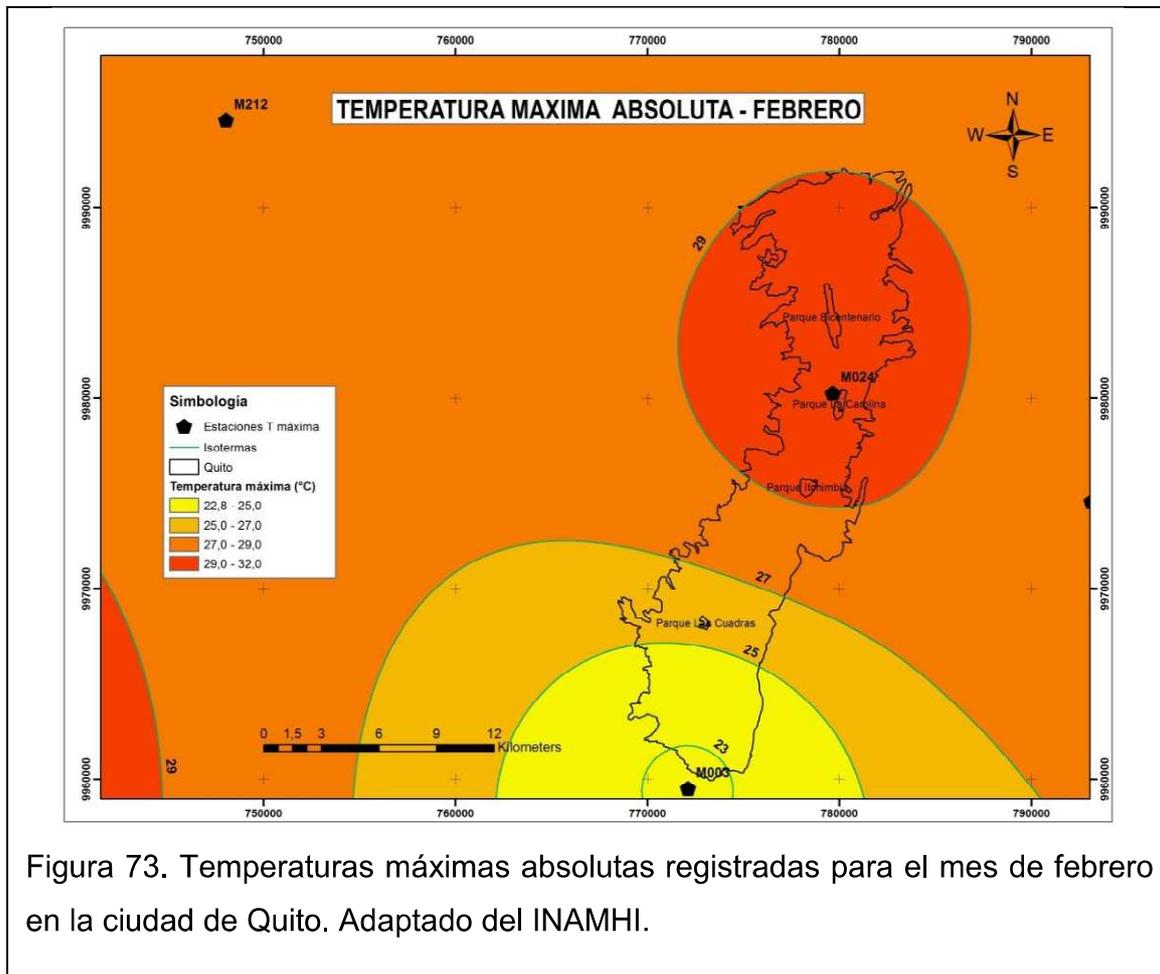
Rango: 23°C - 28°C.



Febrero

Las temperaturas registradas en el sur no difieren del comportamiento del mes anterior, es decir, de 23°C a 27°C. El cambio se presenta en el centro sur ya que pasa de 27°C a 29°C y en el norte notoriamente ya que se puede alcanzar temperaturas superiores a los 29°C (figura 73).

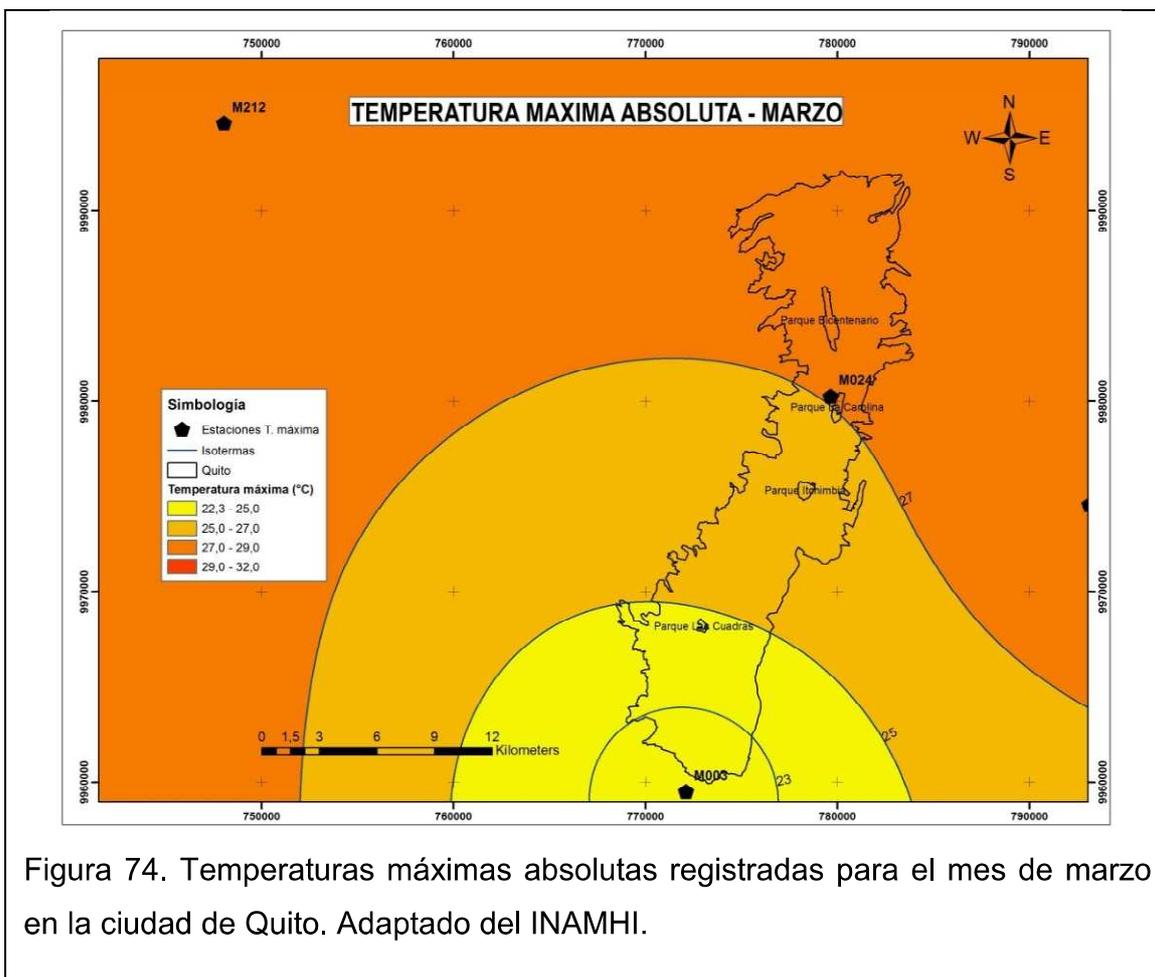
Rango: 23°C - 29°C.



Marzo

Las condiciones del comportamiento de la variable varían a partir del centro hacia el norte, ahora las temperaturas se reducen en casi 2 °C. En el sur se observa una leve reducción de la temperatura (figura 74).

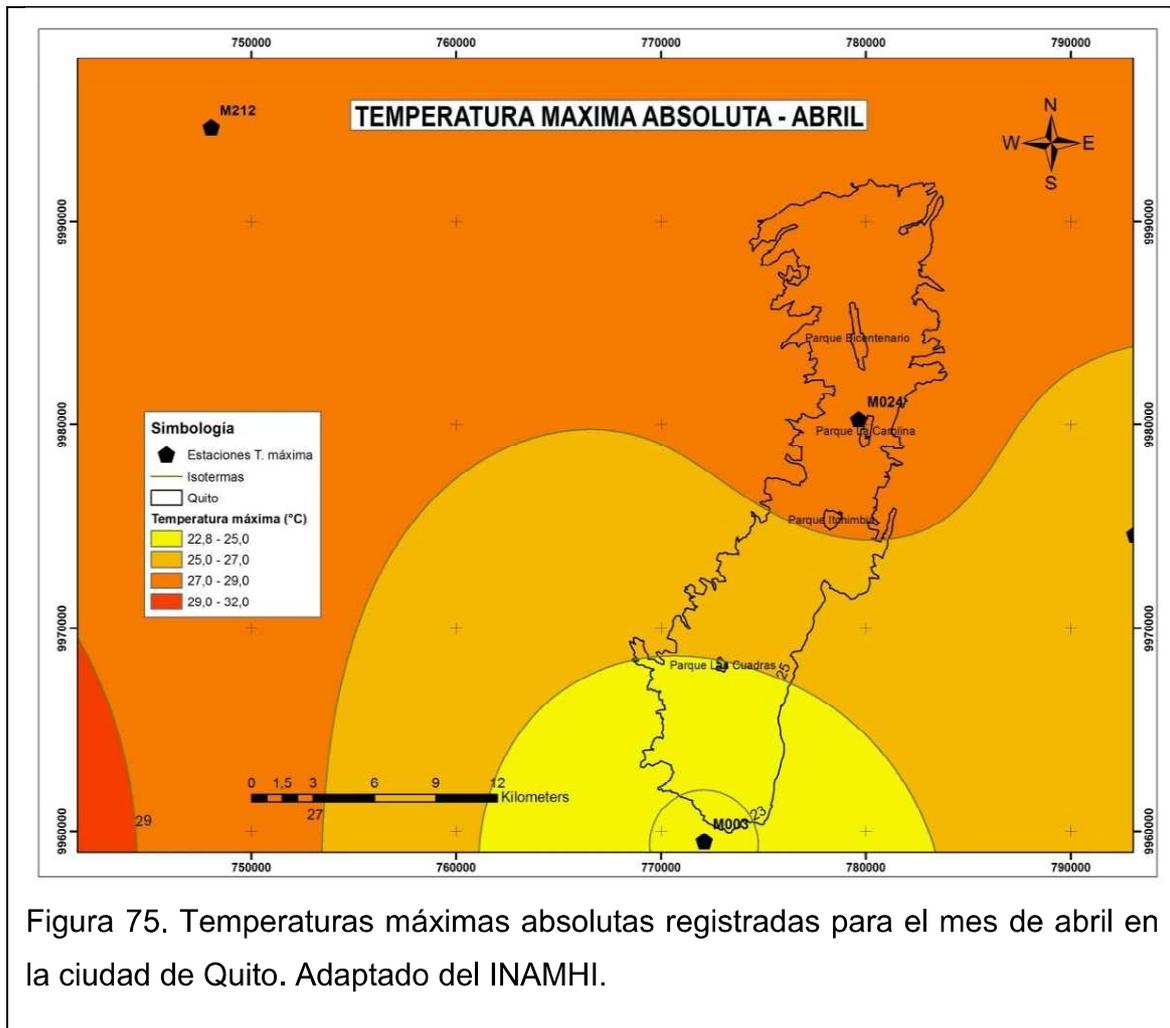
Rango: 22.5°C - 28°C



Abril

La temperatura en el sur va desde los 22°, pasando por los 25° y llegando hasta 27° C en el centro de la ciudad. Para la zona norte se estima que los valores pueden oscilar entre 27 ° - 28°C aproximadamente (figura 75).

Rango: 23° - 28°C.



Mayo, Junio y Julio

Desde el norte las temperaturas alcanzan sobre los 27° C, la misma que desciende hasta los 25°C en la zona sur de la ciudad (parque Las Cuadras), los 23° C son registrados cerca de la estación de Izobamba ubicada a las afueras del sur de la ciudad (figuras 76 - 78).

Rango: 23°C - 27°C.

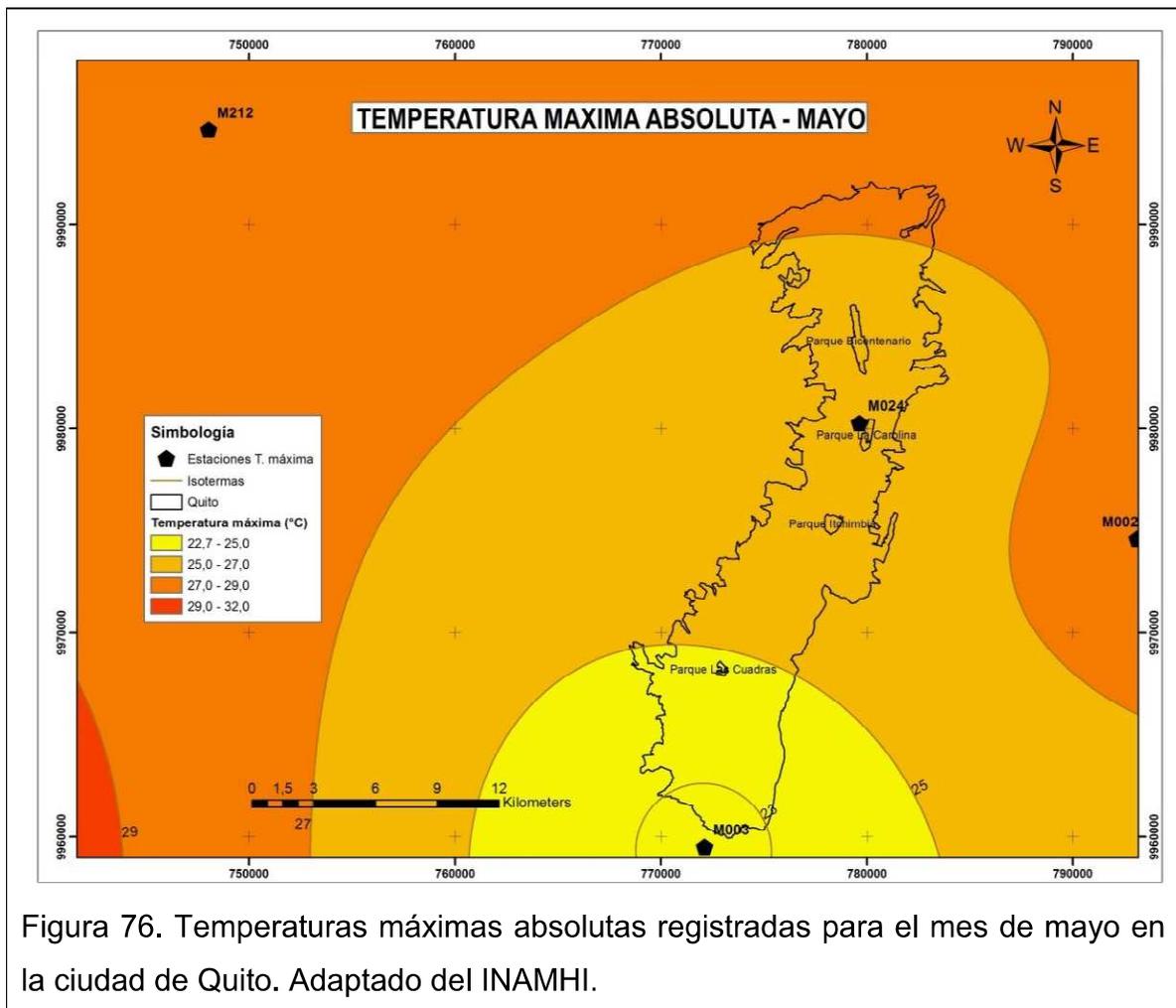


Figura 76. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de mayo en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

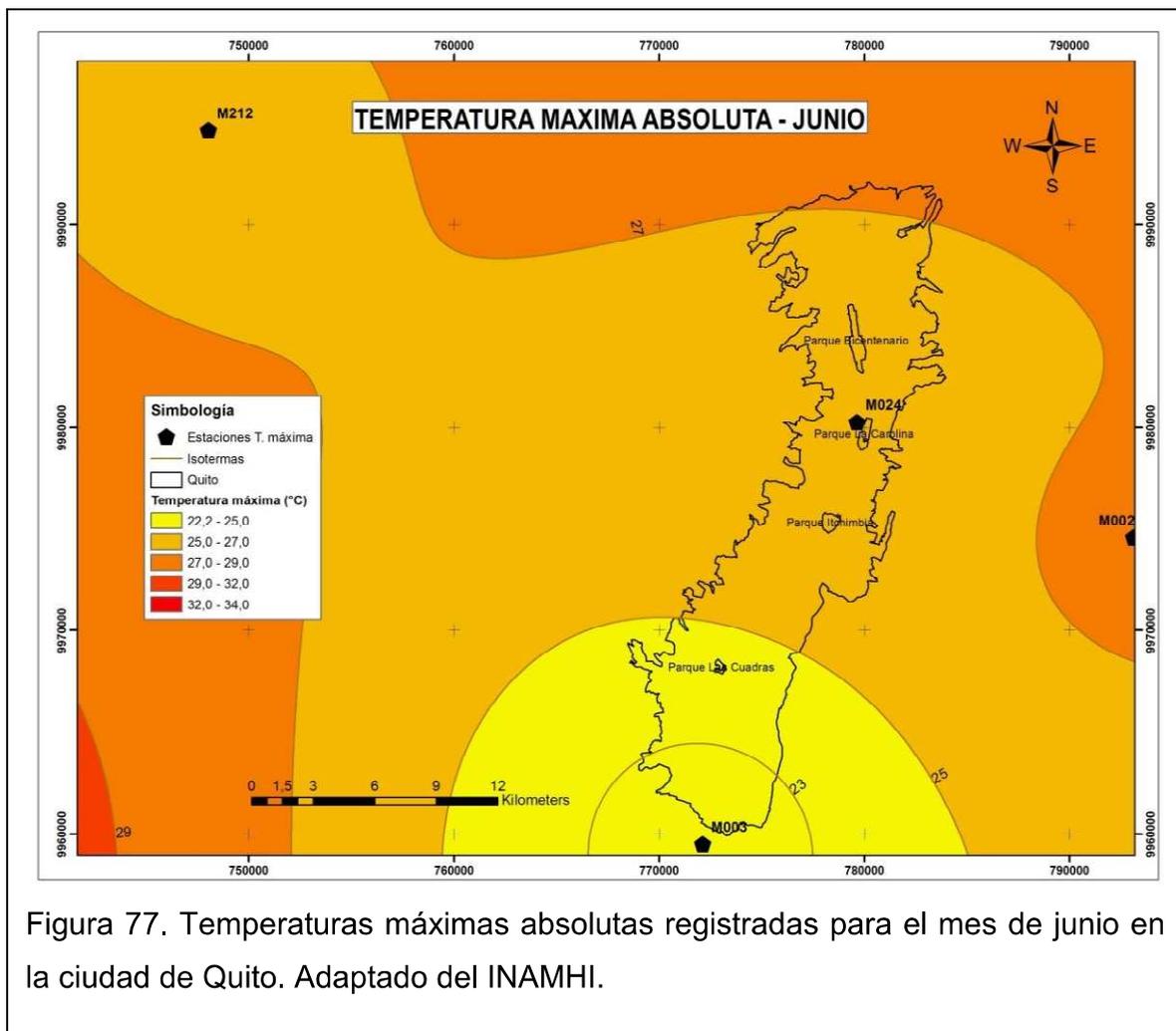


Figura 77. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de junio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

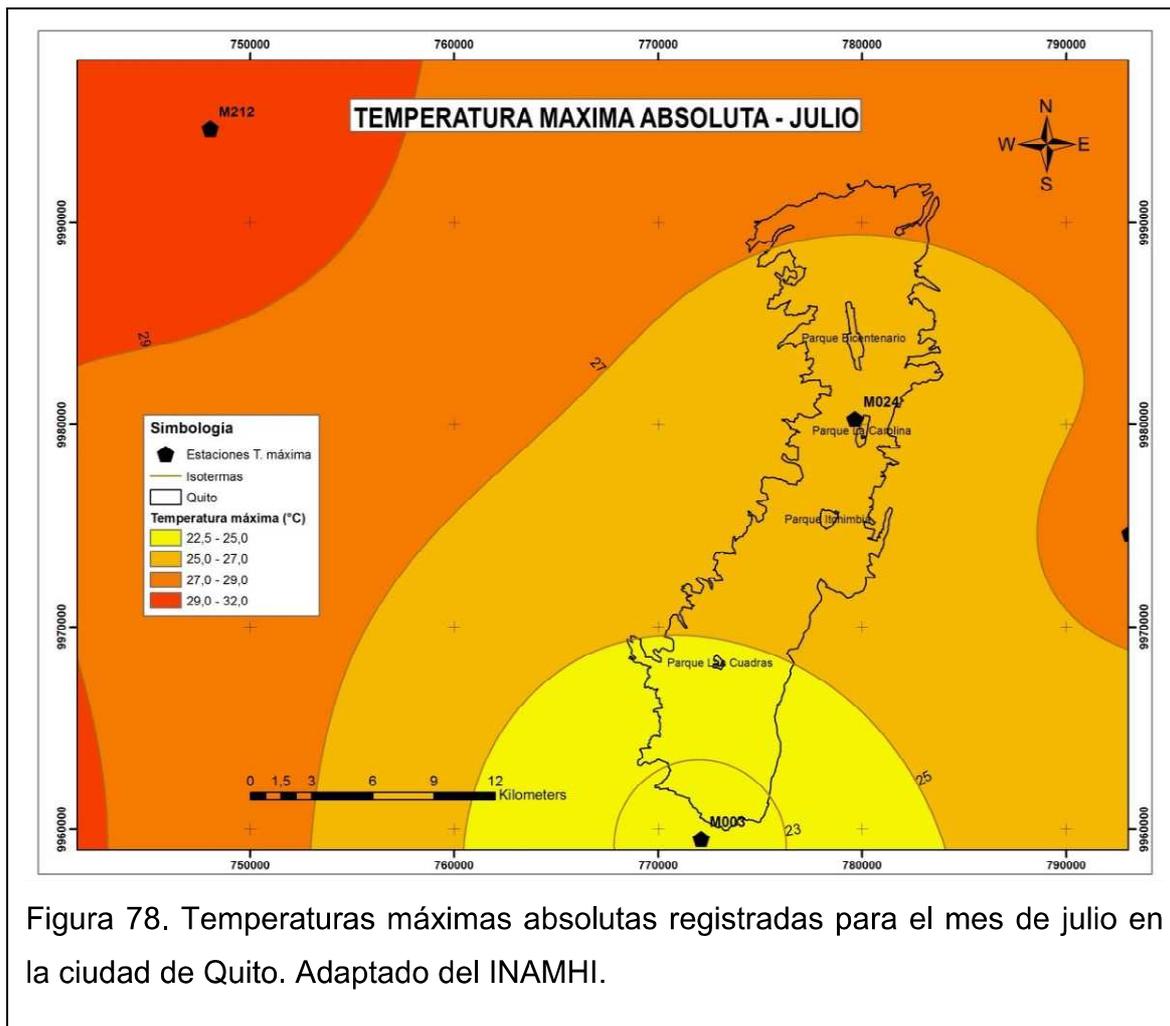


Figura 78. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de julio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Agosto

En el norte se han registrado las temperaturas más elevadas dentro de la ciudad, desde el centro hacia el norte pueden sobrepasar los 29 °C. En el centro - sur las temperaturas oscilan entre 25° - 27°C, más hacia el sur los registros máximos están sobre 23°C.

Rango: 22.5° - 30°C

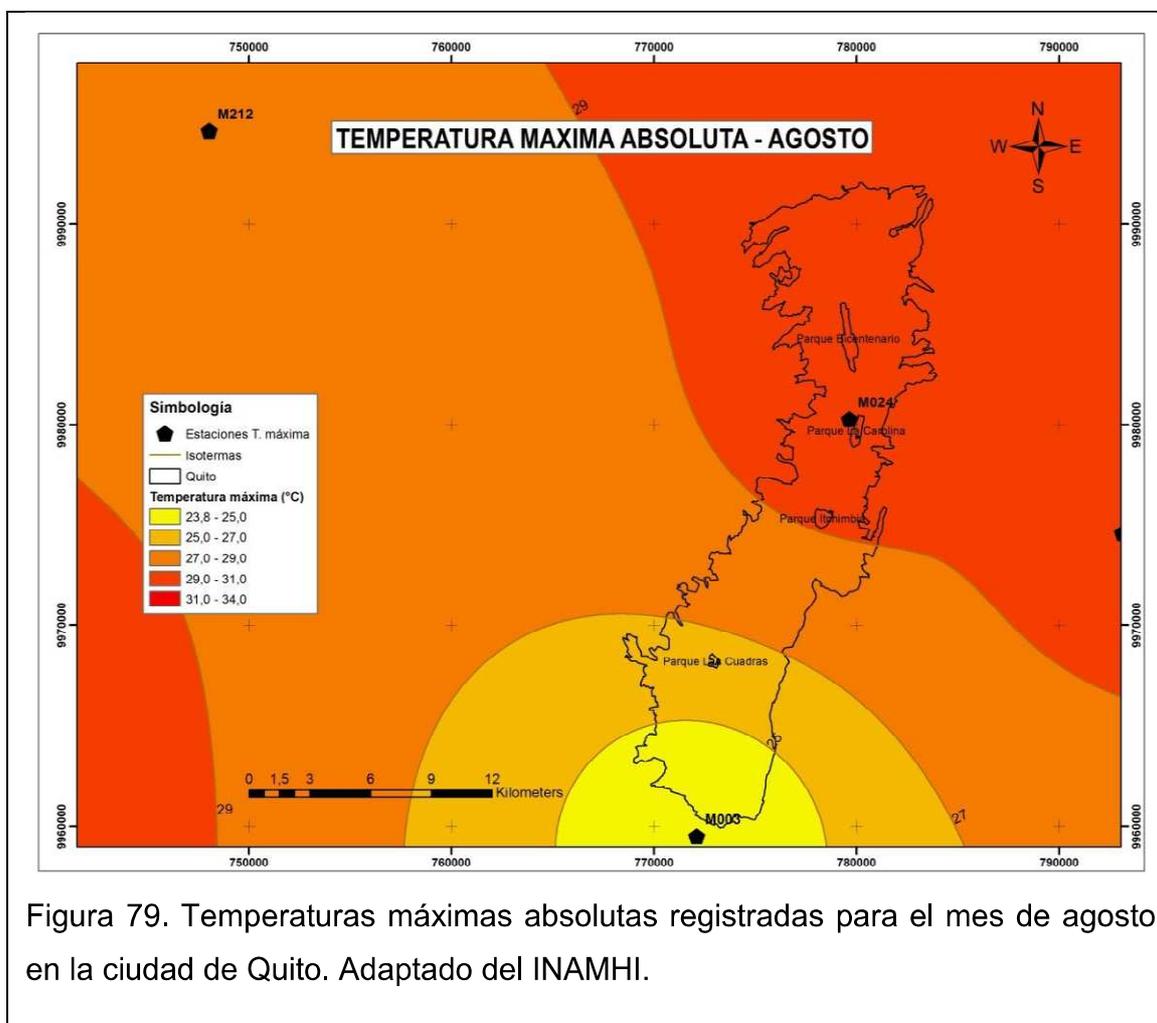
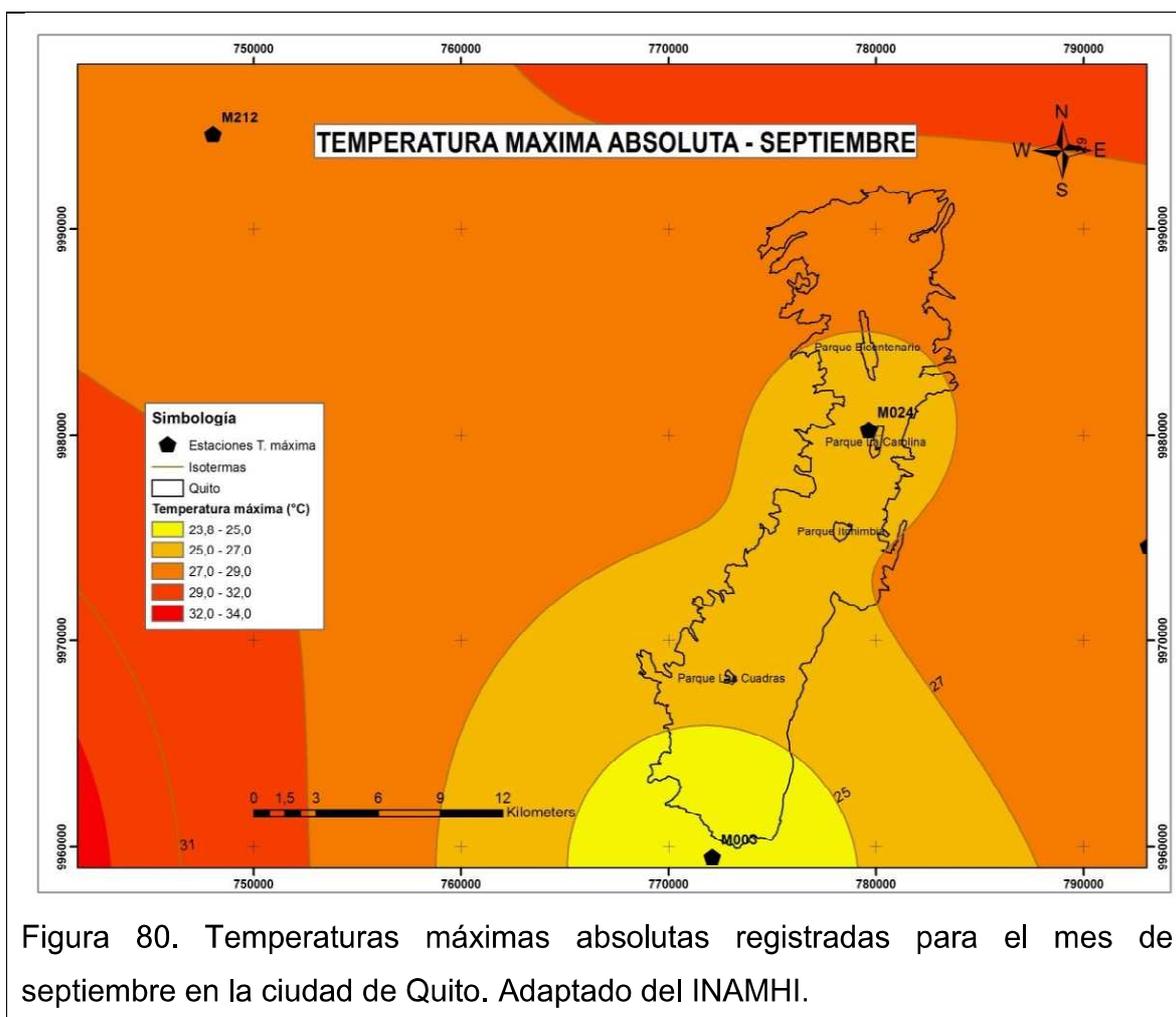


Figura 79. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de agosto en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Septiembre

Las temperaturas durante este mes del año se mantienen en 24°C para la zona sur, 24° - 27°C para la zona centro - sur y centro - norte de la ciudad, y en la zona norte va de los 27° - 28,5°C (figura 79).

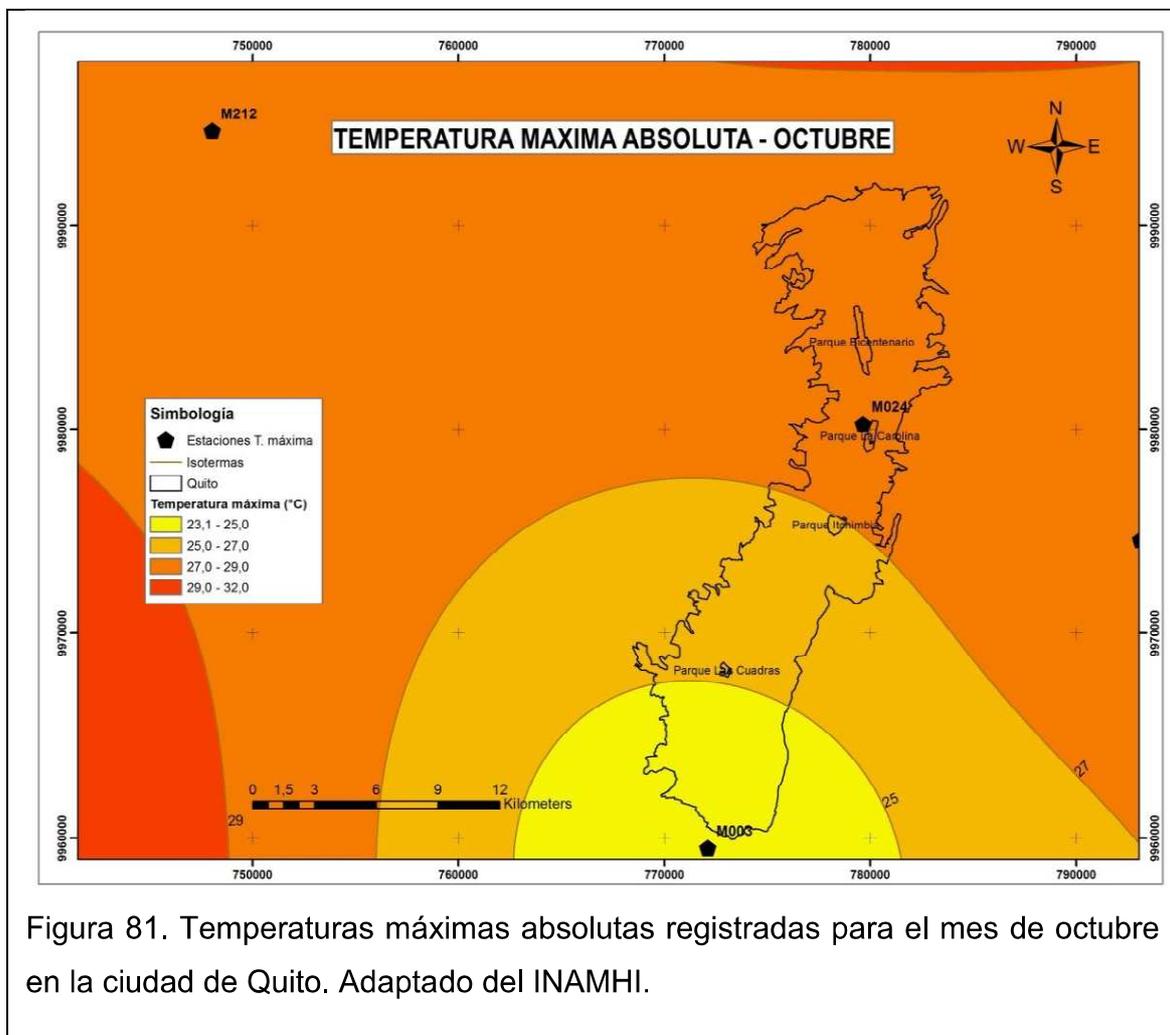
Rango: 24° - 28,5°C.



Octubre

La temperatura en el sur de la ciudad no sobrepasa los 25° C, hasta la zona central de la ciudad se pueden presentar temperaturas hasta 27° C. Finalmente el resto de la ciudad puede presentar máximas mayores a 28° C (figura 80).

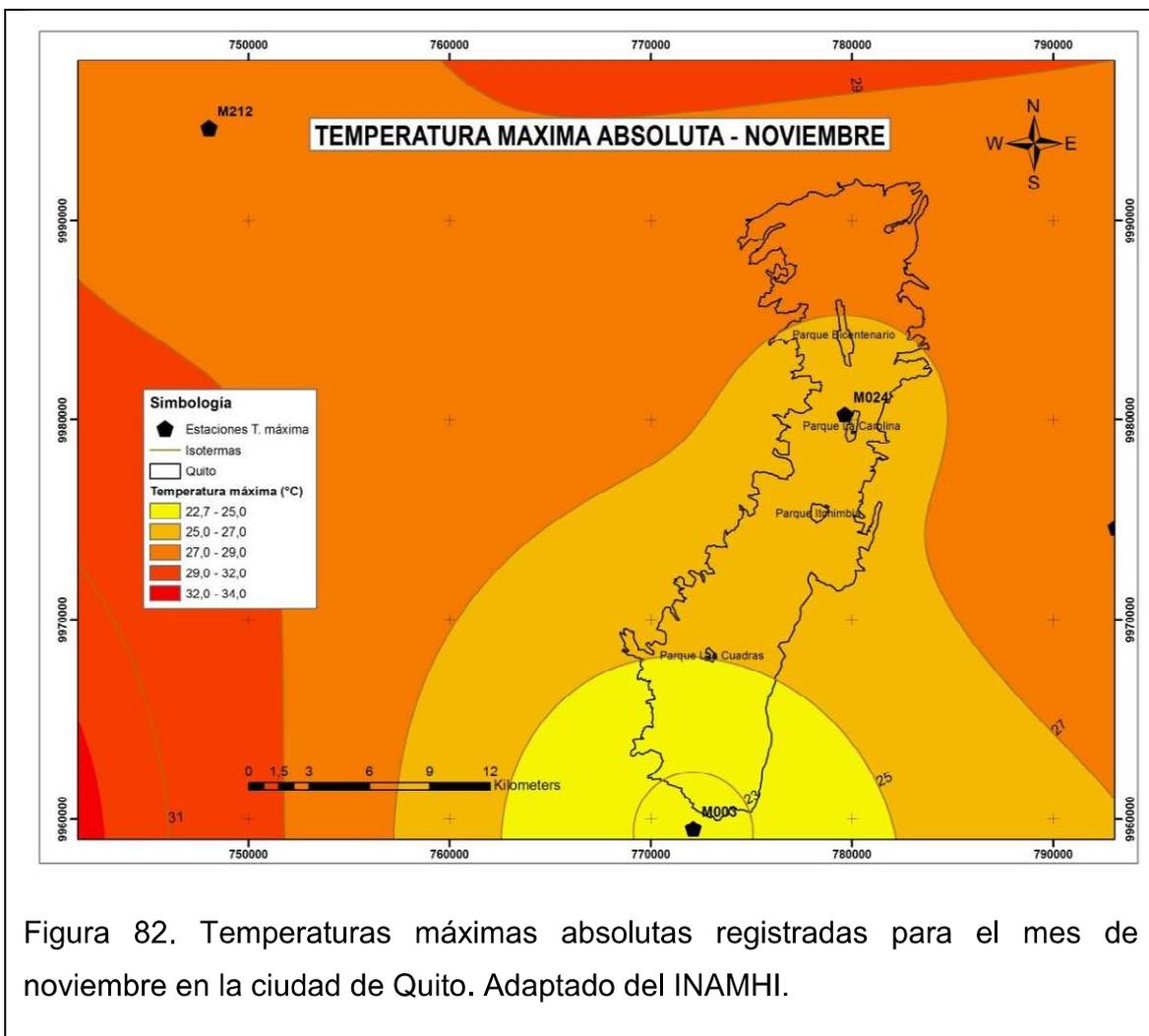
Rango: 23° - 28,5° C.



Noviembre

Las temperaturas máximas en el sur de la ciudad no cambian con respecto al mes de octubre, mientras que desde la zona centro - sur hasta el centro norte (parque bicentenario) llega hasta los 27° C y para la zona norte valores superiores a los 28°C (figura 81).

Rango: 23° - 28,5° C.



Diciembre

Su comportamiento es similar al evidenciado en el mes de agosto. Sus máximas en el sur van desde los 23° hasta los 27°C. Desde el centro - sur hasta el centro va de 27° a 29° C, el norte registra temperaturas superiores a los 29°C.

Rango: 23° - 30°C.

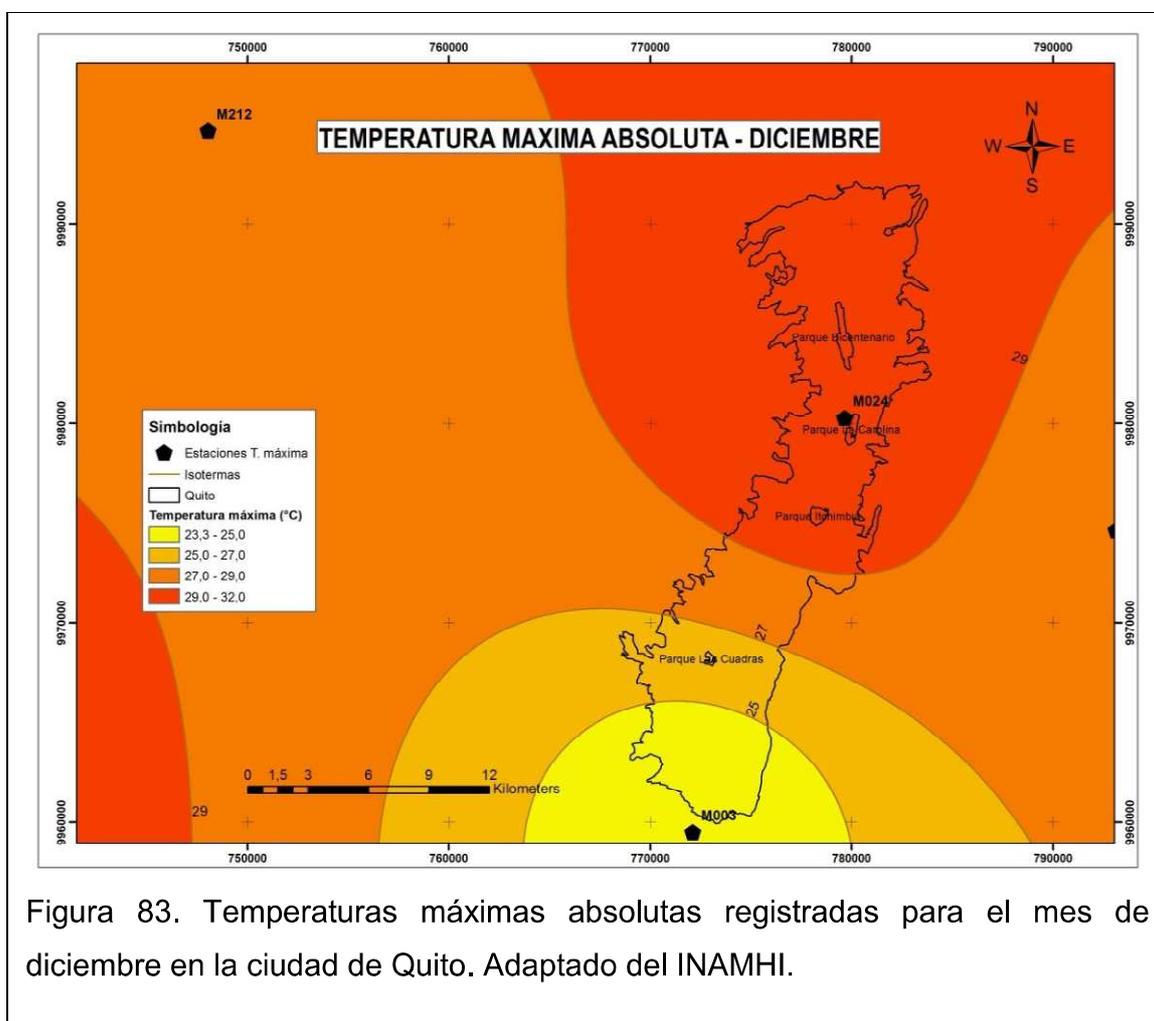
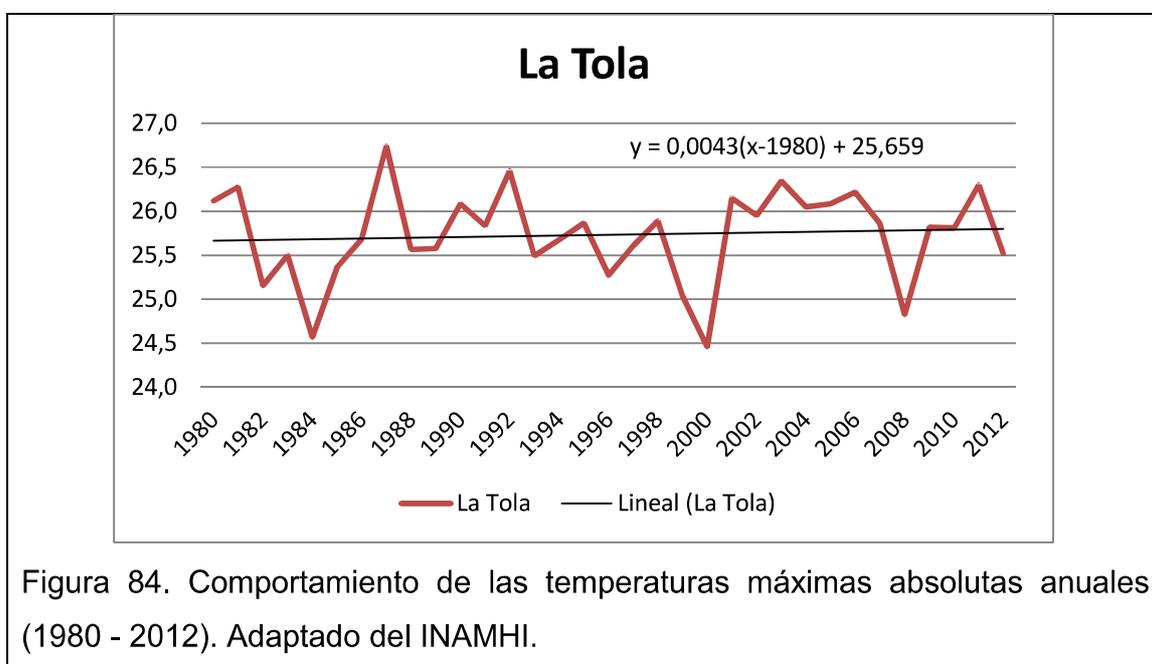


Figura 83. Temperaturas máximas absolutas registradas para el mes de diciembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

2.3.3.2. Tendencia de la temperatura máxima promedio anual

La Tola (M002): En el periodo comprendido entre los años 1980 - 2012, la estación ubicada en uno de los valles orientales del DMQ, presenta una variación positiva en su línea de tendencia en aproximadamente 0.1°C . Su pronóstico para el año 2020 se aproxima a los 25.83°C y 25.96°C para el año 2050.



Izobamba (M003): Estación que se encuentra ubicada muy cerca de la periferia del límite sur de la ciudad. Sus registros datan del año 1965 hasta el año 2009. Trazando una línea de tendencia se puede observar en la figura 85 un incremento en 0.35°C aproximadamente. Se pronostica que para el año 2020 continuará el incremento y se asume un valor de 21.16°C y para el año 2050 sería un valor de 21.37°C .

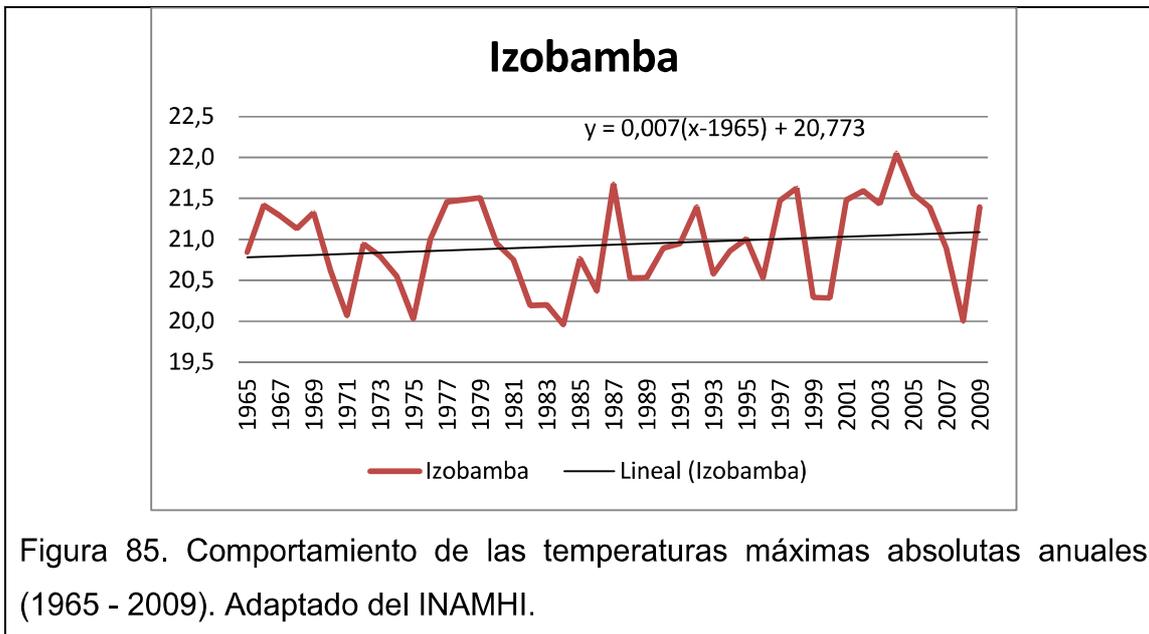


Figura 85. Comportamiento de las temperaturas máximas absolutas anuales (1965 - 2009). Adaptado del INAMHI.

Iñaquito (M024): Sin lugar a duda es el dato que más llama la atención de todos, debido a que en 36 años (1975 - 2011) de registros la tendencia es notablemente hacia el aumento pasando de 23° C hasta los 25°C, es decir, aproximadamente son 1.9°C de incremento promedio. El pronóstico para el año 2020 se estima en 25.4°C y para el año 2050 puede alcanzar los 26°C

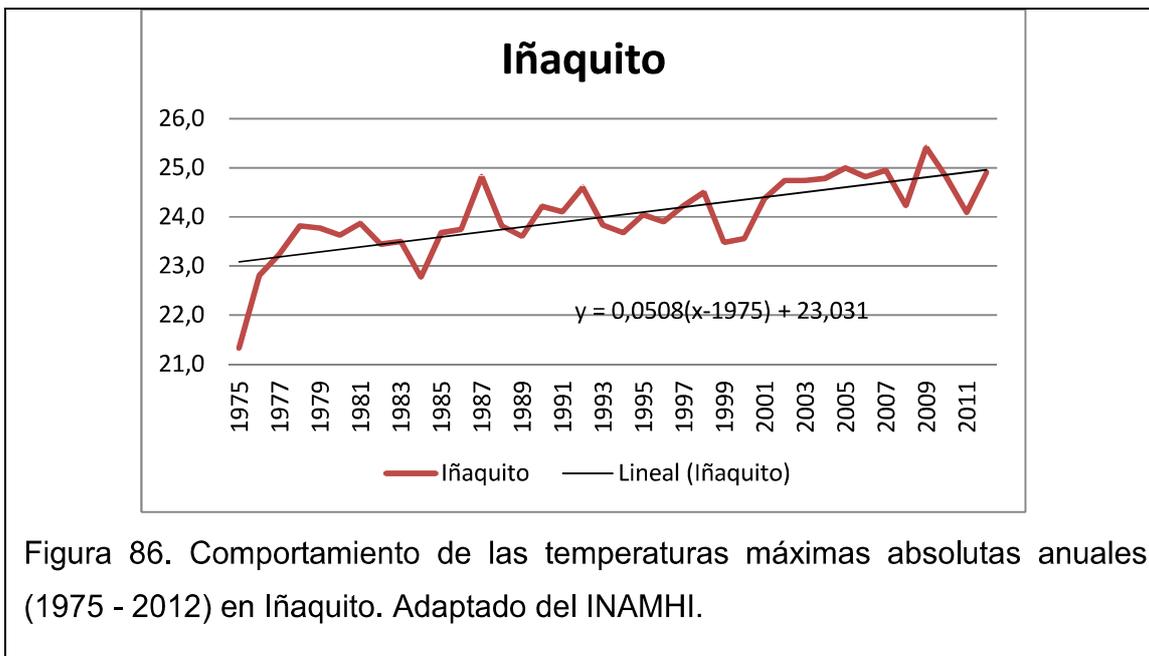


Figura 86. Comportamiento de las temperaturas máximas absolutas anuales (1975 - 2012) en Iñaquito. Adaptado del INAMHI.

Todas las estaciones que registraron esta variable por amplios periodos de tiempo marcan una tendencia al incremento de estas temperaturas. Es necesario destacar que la variación en Iñaquito rodea los 2° C, al alza.

2.3.3.3. Análisis de la temperatura máxima promedio en terrazas

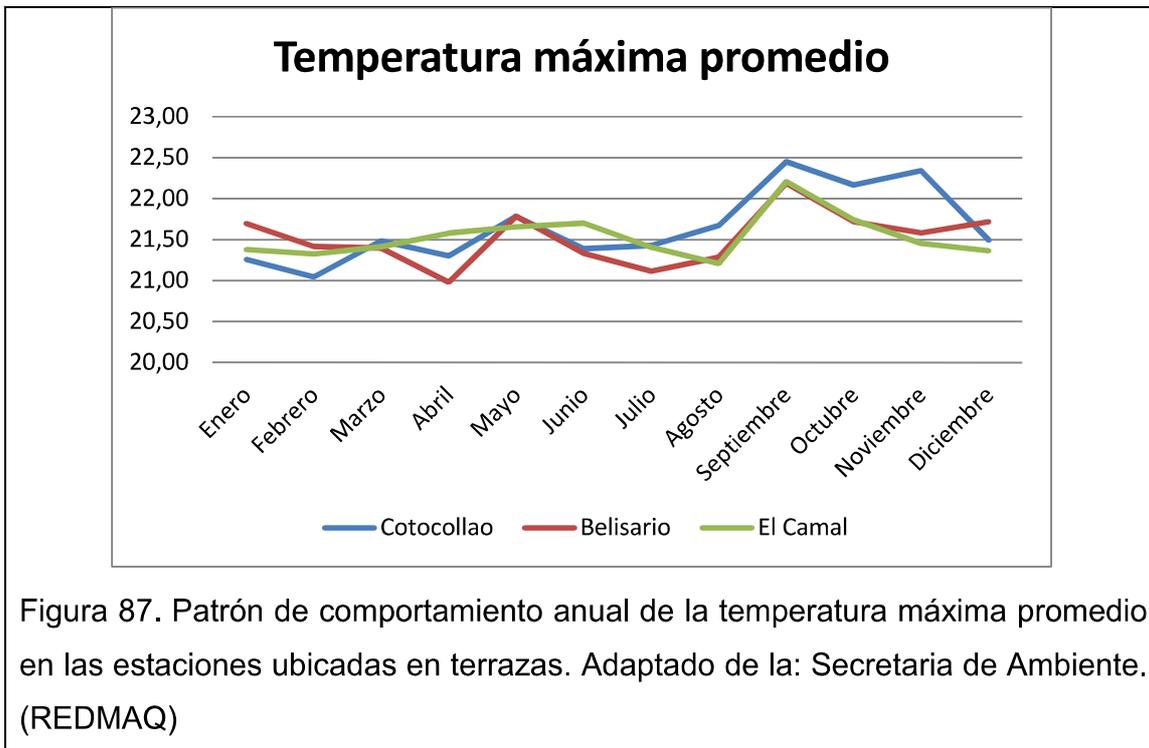
Sus valores no varían significativamente dentro de la ciudad, son patrones de comportamiento muy semejantes entre sí. Belisario inicia el año con las temperaturas más cálidas, para marzo y mayo es Cotocollao, luego en abril y junio es El Camal. A partir de esta fecha hasta finalizar el año Cotocollao registra nuevamente los mayores valores (tabla 27 y figura 87).

Rango: 20.98° - 22.45° C

Tabla 27. Temperatura máxima promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas.

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
COTOCOLLAO	21,25	21,04	21,49	21,30	21,78	21,39	21,43	21,67	22,45	22,16	22,34	21,49
BELISARIO	21,69	21,42	21,40	20,98	21,78	21,33	21,11	21,28	22,18	21,72	21,58	21,72
EL CAMAL	21,38	21,32	21,41	21,58	21,66	21,70	21,40	21,21	22,21	21,74	21,45	21,36

Nota: El color rojo representa el mayor valor medio de temperatura, el naranja el segundo y el valor más bajo se los marcó con amarillo.



2.3.4. Temperatura Mínima

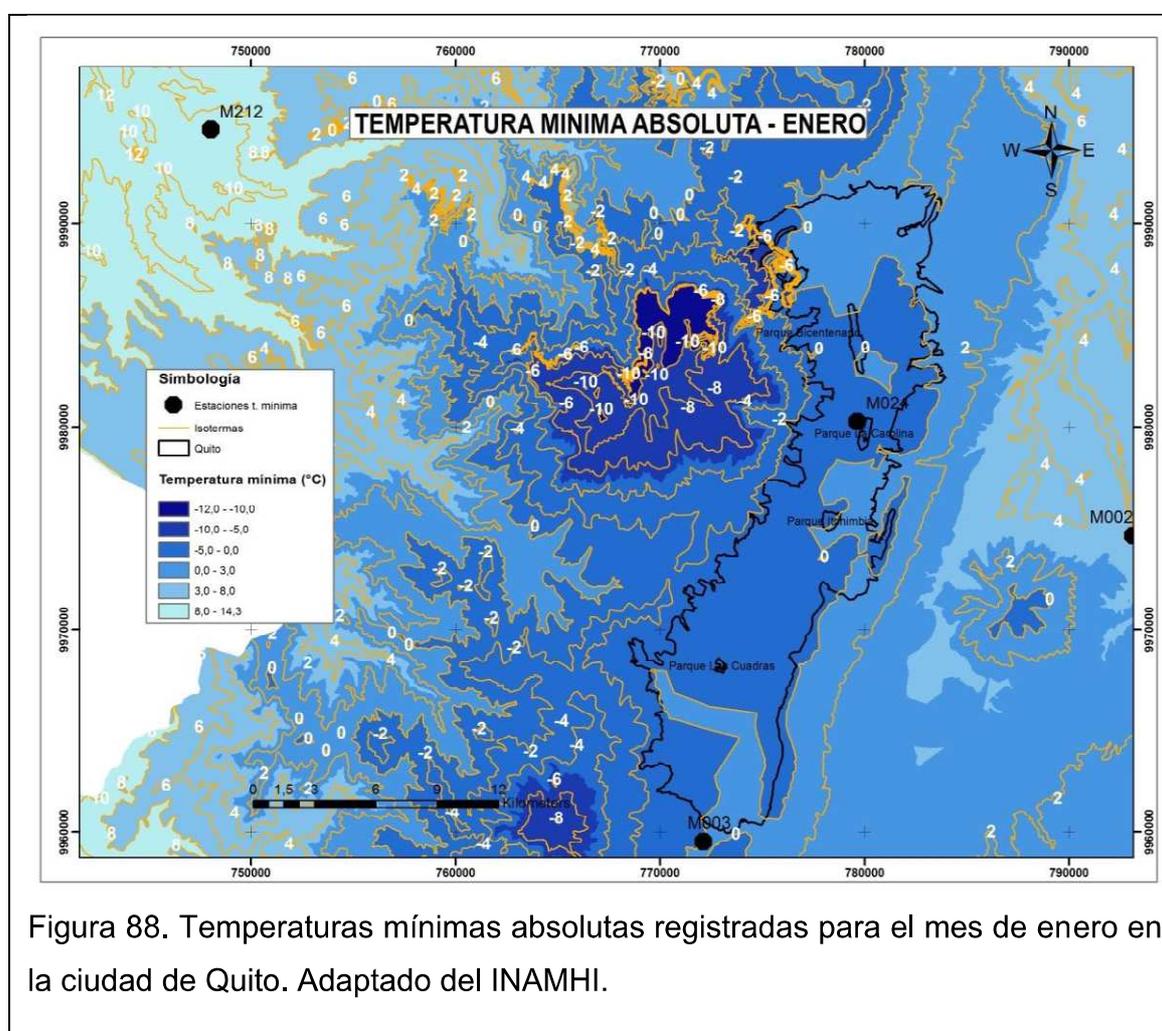
Se realizaron dos tipos de análisis, uno para las temperaturas máximas absolutas y otro para las temperaturas máximas promedio, estas últimas son datos registrados por las estaciones meteorológicas de la Secretaria de Ambiente del DMQ. Sus valores mínimos nos permitirán definir épocas del año donde se podrían presentar temperaturas inferiores a 0° (heladas) y tomar medidas respecto a estos eventos y también para definir qué especies vegetales pueden desarrollarse perfectamente con estos valores mínimos.

Para la elaboración de los mapas se utilizó la metodología de interpolación de las medias móviles (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés), que se encuentra disponible de la herramienta SIG, ArcGIS.

2.3.4.1. Isotermas de mínimas absolutas

Enero

La temperatura más baja absoluta registrada para el mes de enero fue de 0° . Sin embargo dentro de la ciudad se puede verificar (figura 88), que la temperatura mínima absoluta registrada en general oscila de -1° - 2° C.



Febrero, Marzo

Son meses donde las temperaturas cercanas a cero se pueden presentar en las zona sur y a partir de aquí hasta la zona centro sur su valor puede alcanzar los 3°C. Para el resto de la ciudad y en dirección norte su temperatura mínima absoluta registrada puede alcanzar los hasta 4°C (figuras 89 y 90).

Rango: 0°- 4°C.

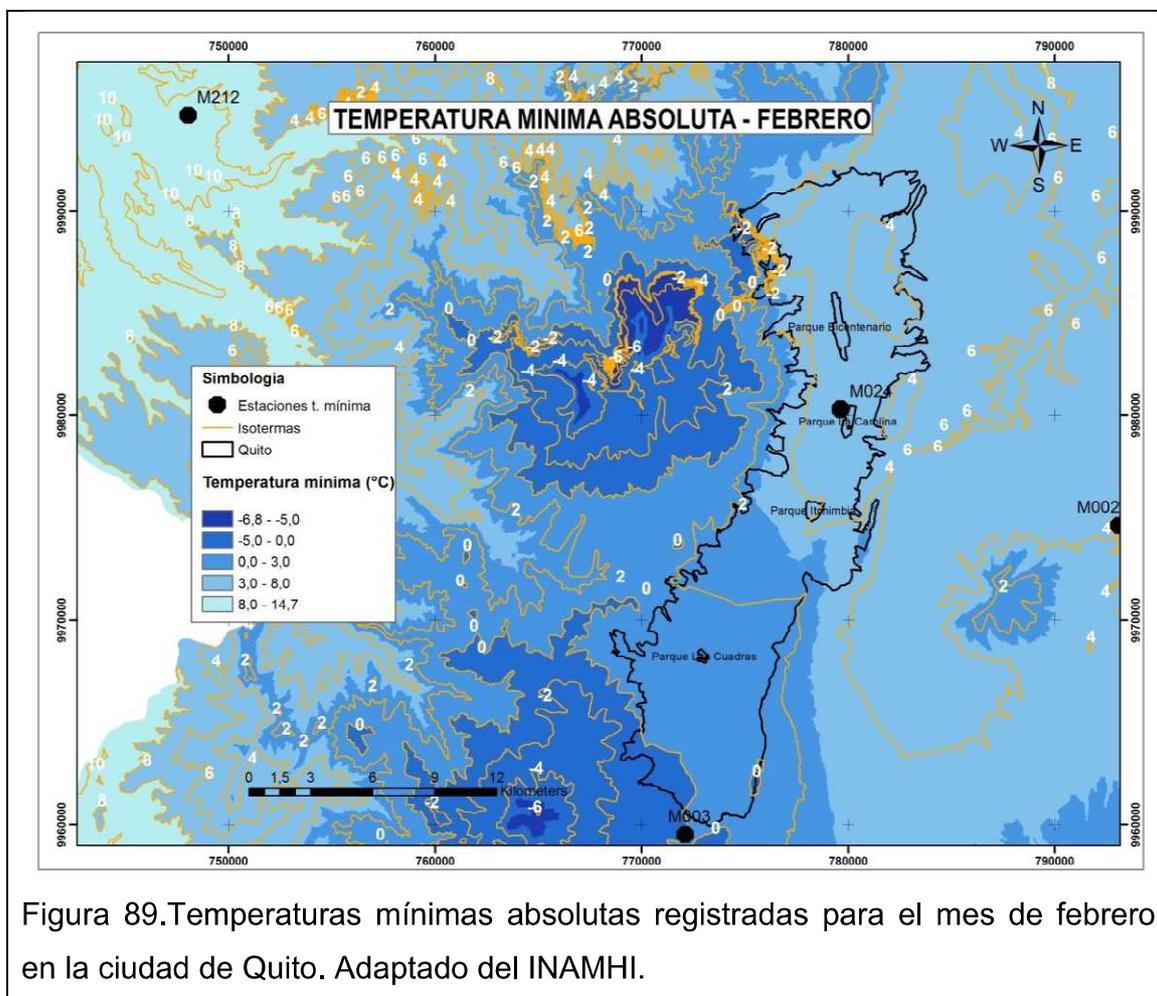
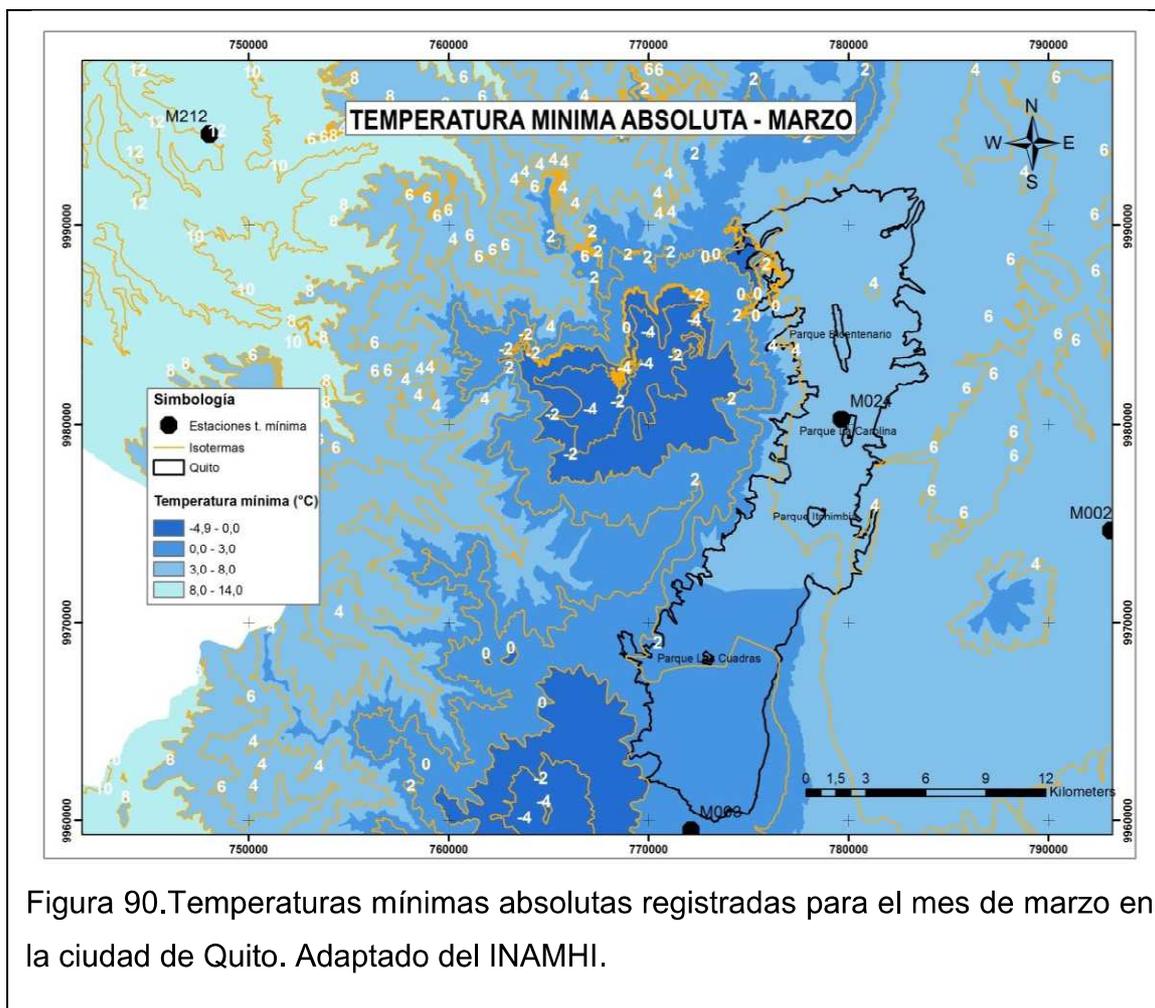


Figura 89. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de febrero en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.



Abril

Su comportamiento es muy similar al mes de enero. Sus temperaturas pueden alcanzar desde los 2 °C hasta llegar a -1°C (figura 91), muy similar al comportamiento ocurrido en el mes de enero.

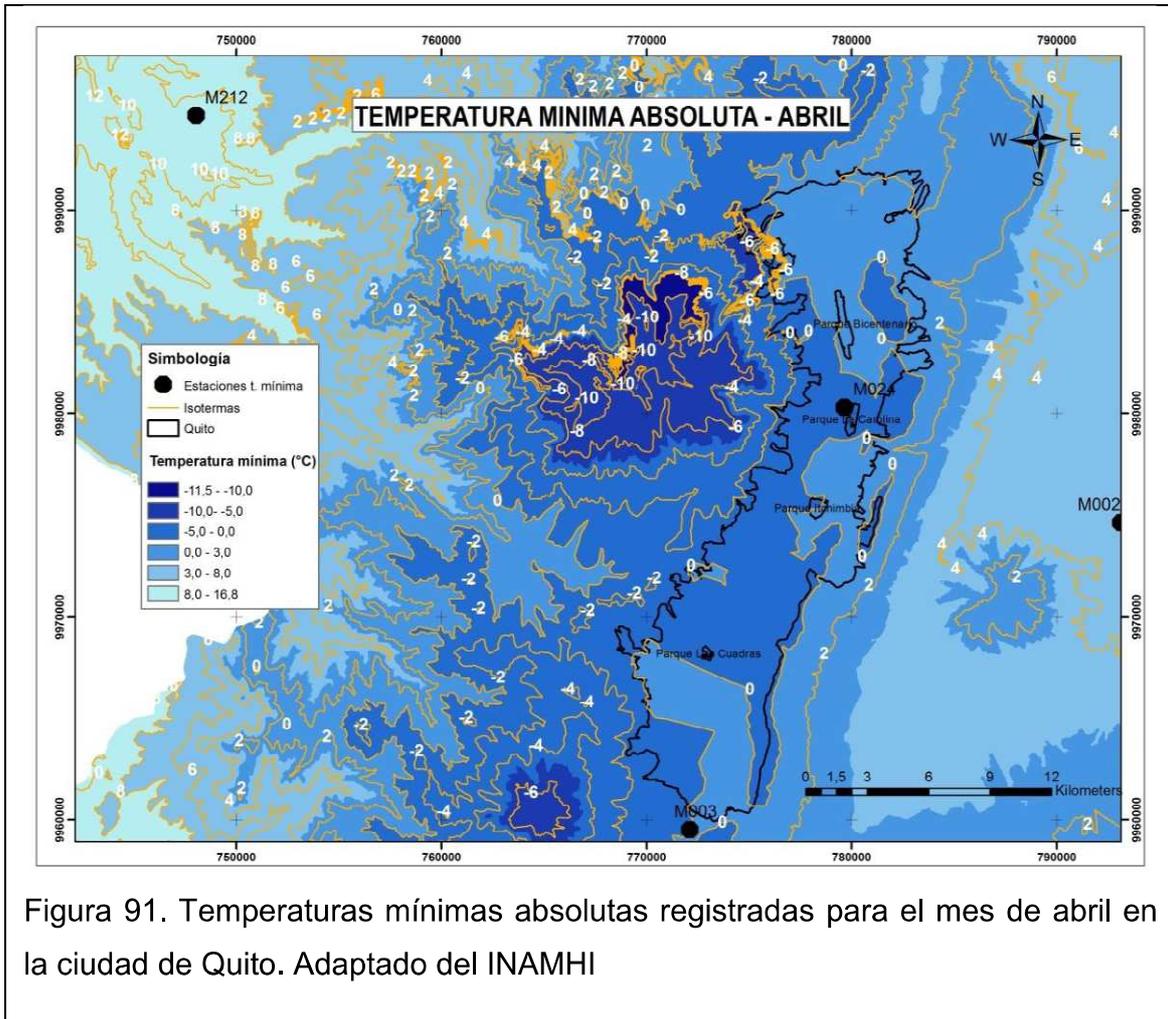
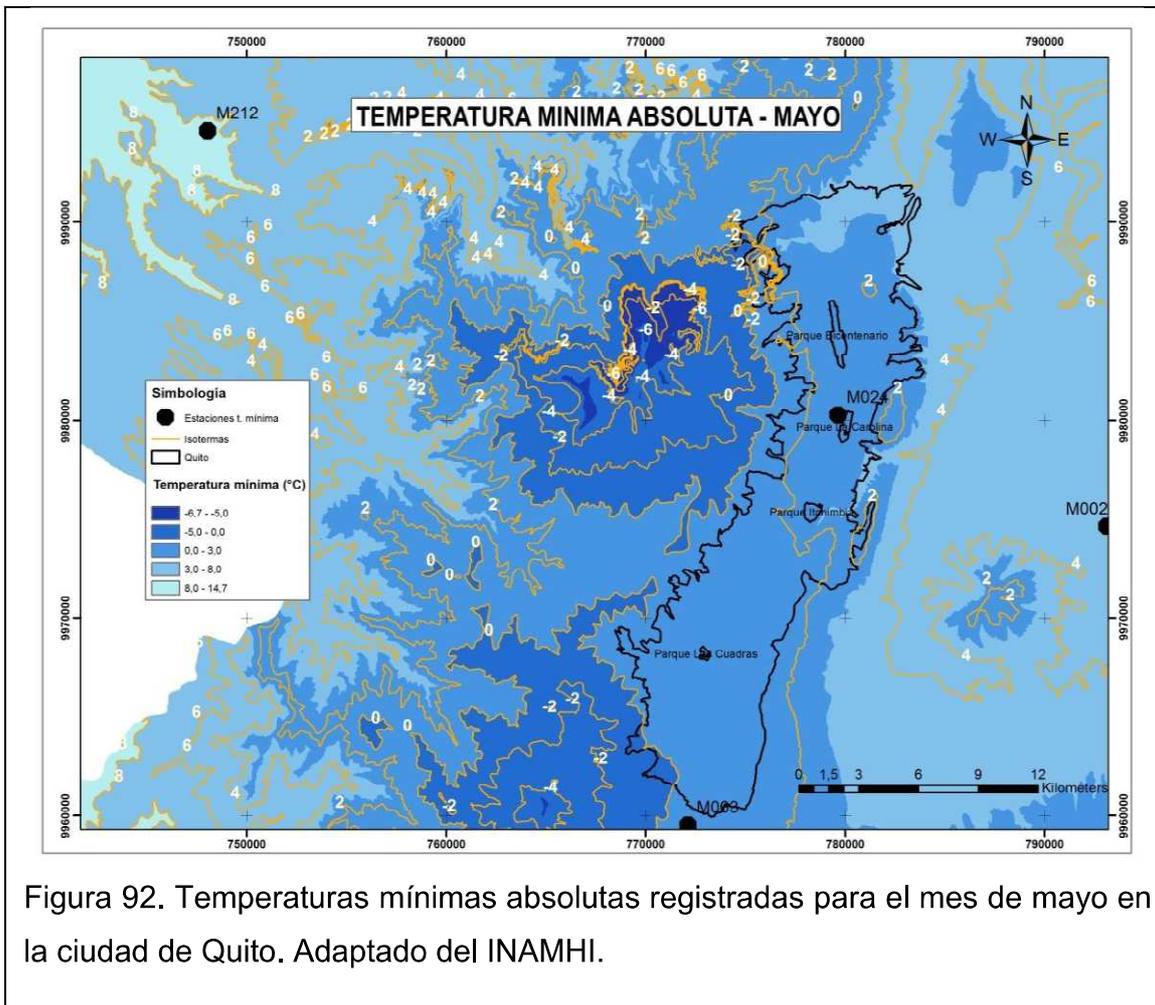


Figura 91. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de abril en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI

Mayo

Comparando este mes con el mes anterior se puede observar que las temperaturas en el sur, centro y centro norte de la ciudad no varían significativamente, los cambios se notan en la zona norte donde las temperaturas son más cálidas (figura 92).

Rango: 0° - 3°C.



Junio

Al igual que los meses de febrero y marzo, las temperaturas más bajas se presentan desde el sur hasta el centro sur de la ciudad (0 – 2 °C). A partir de este punto su valores son más cálidos (figura 93).

Rango: 0° - 4°C.

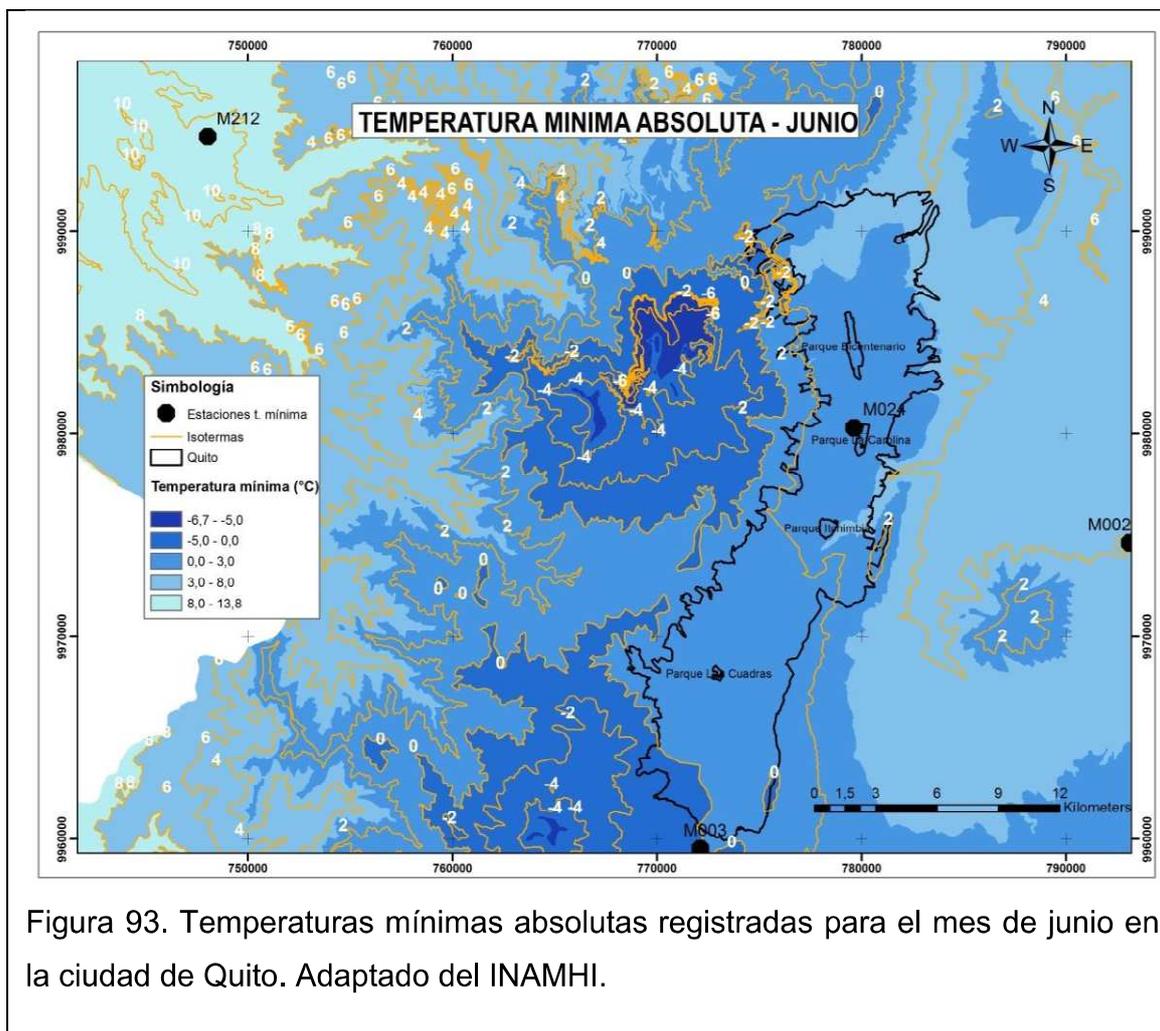


Figura 93. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de junio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Julio

La ciudad presenta un patrón homogéneo de temperatura. Las temperaturas oscilan de -1° - 3° C y se pueden presentar en toda la ciudad. Sin embargo aún puede ser más frío el sur que el norte (figura 94).

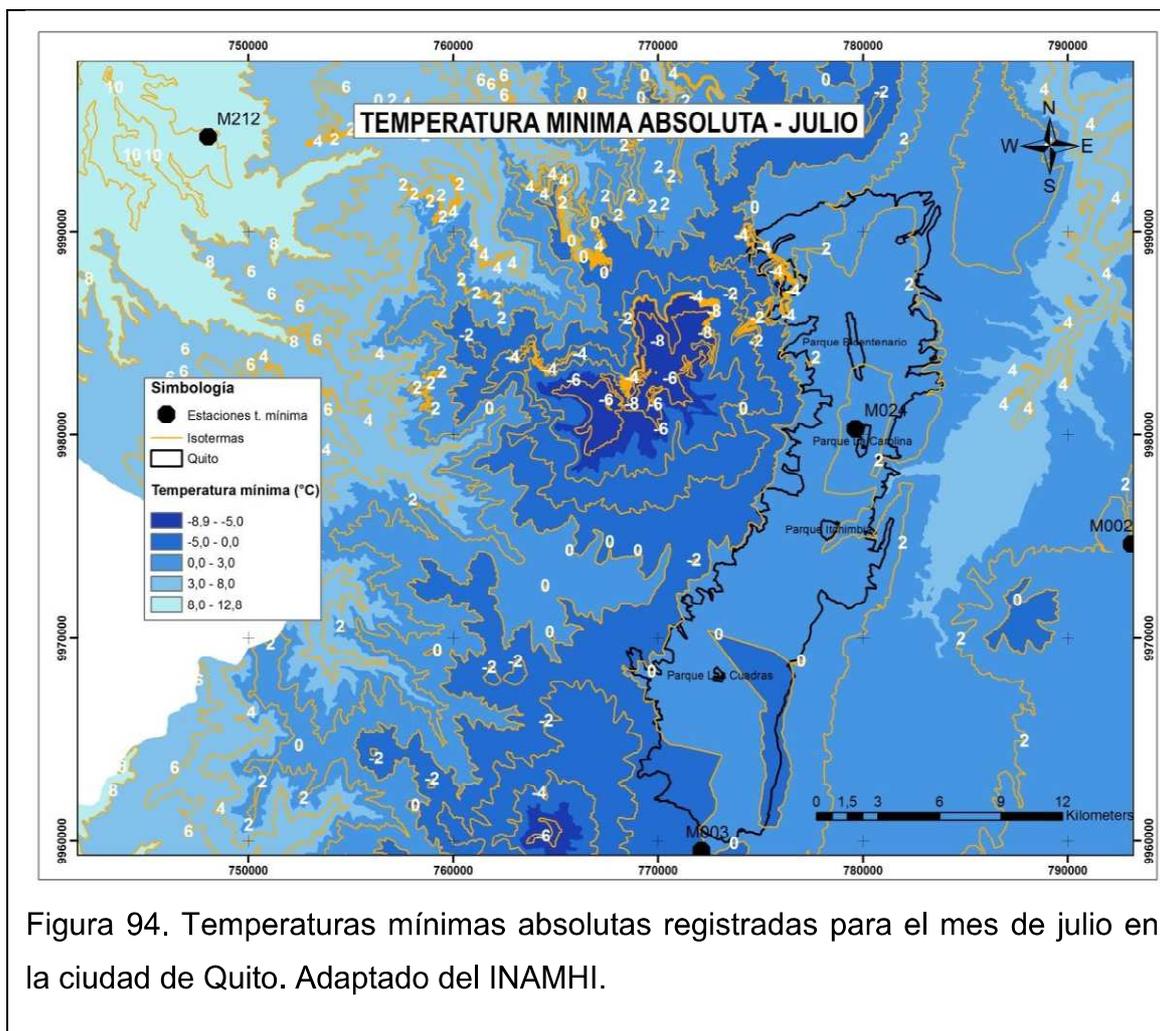


Figura 94. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de julio en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Agosto, Septiembre y Octubre

Las temperaturas son un tanto más frías que el mes de Julio, la zona sur puede alcanzar valores bajo 0°C y prácticamente la zona centro sur valores hasta los 2°C . Para el resto de la ciudad los valores van desde los 2°C hasta los 3°C (figura 95 y 96). En el mes de Octubre el norte puede tener mínimas de hasta 3°C (figura 97).

Rango: -2° - 3°C .

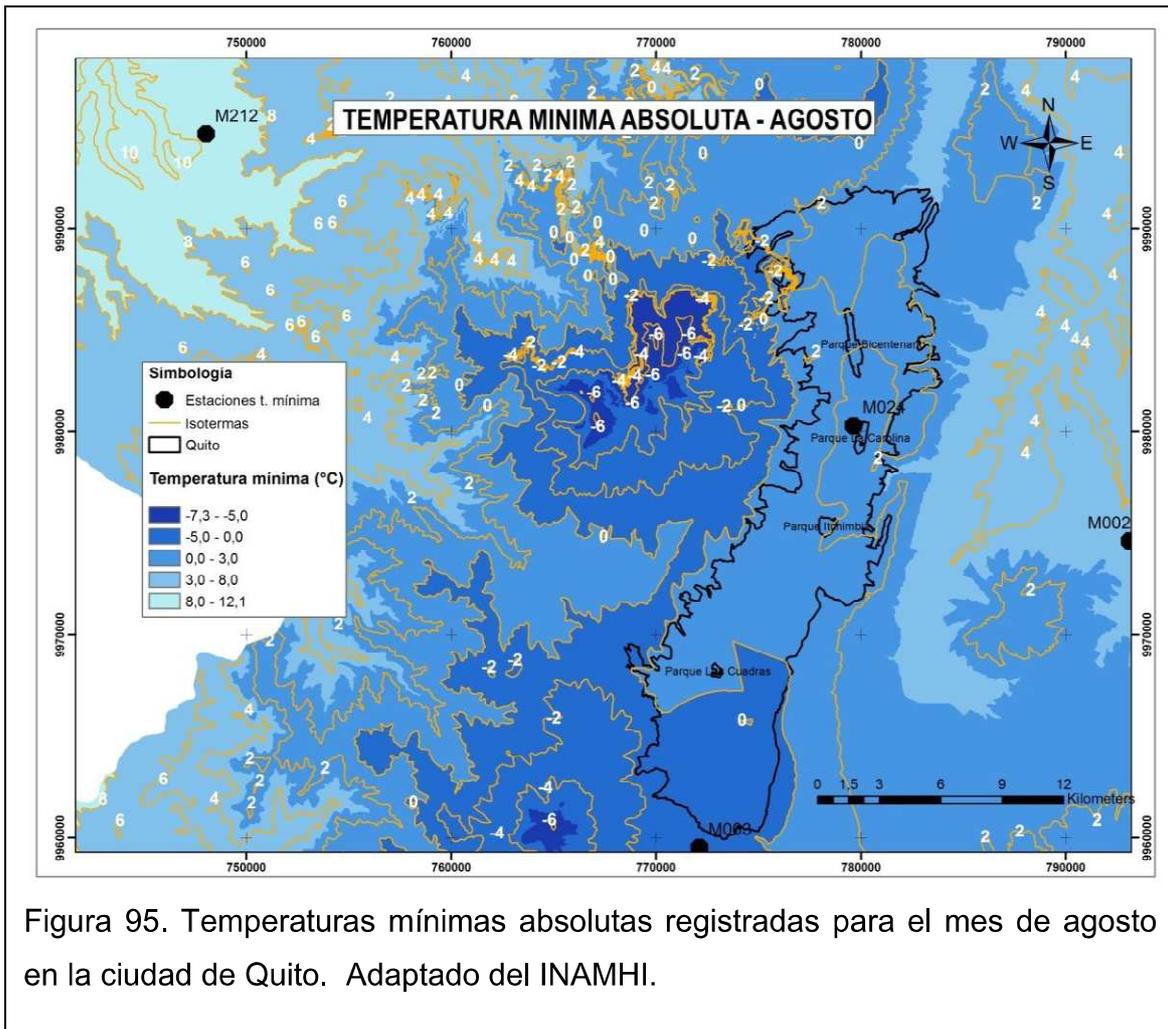


Figura 95. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de agosto en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

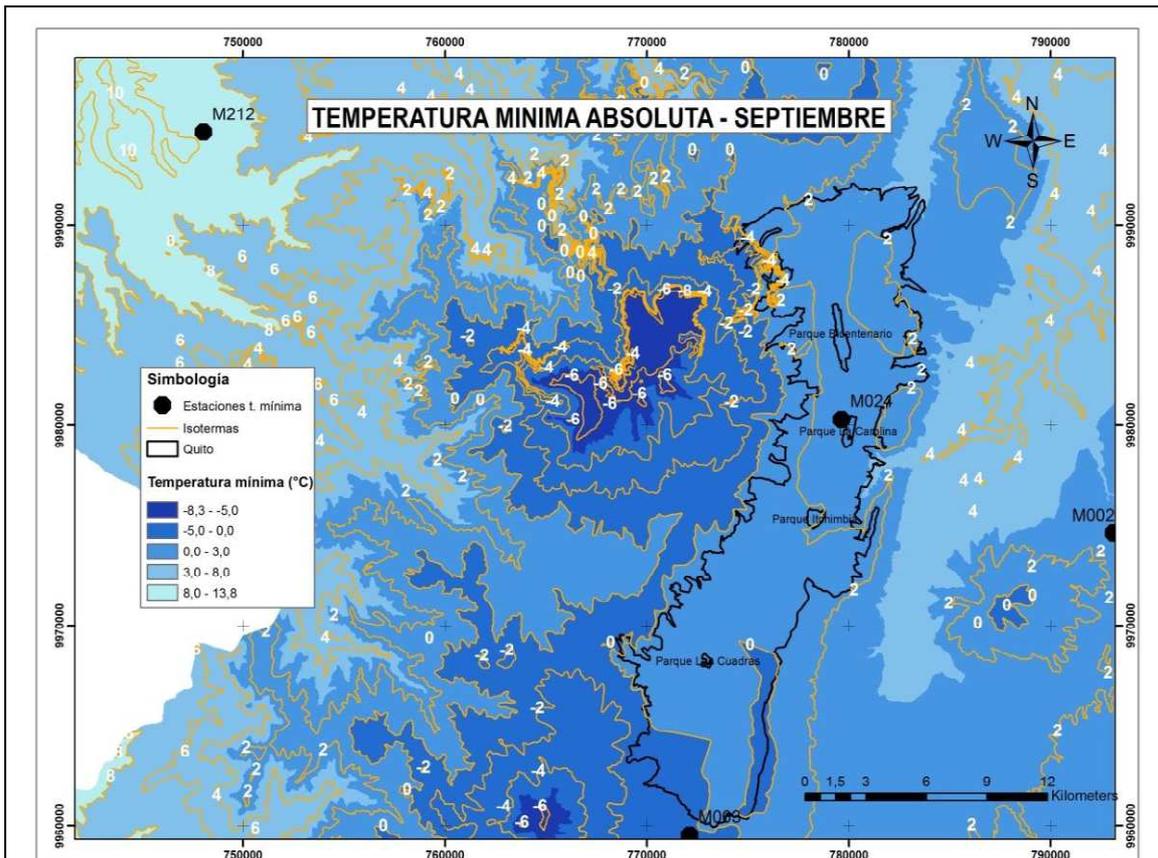


Figura 96. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de septiembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

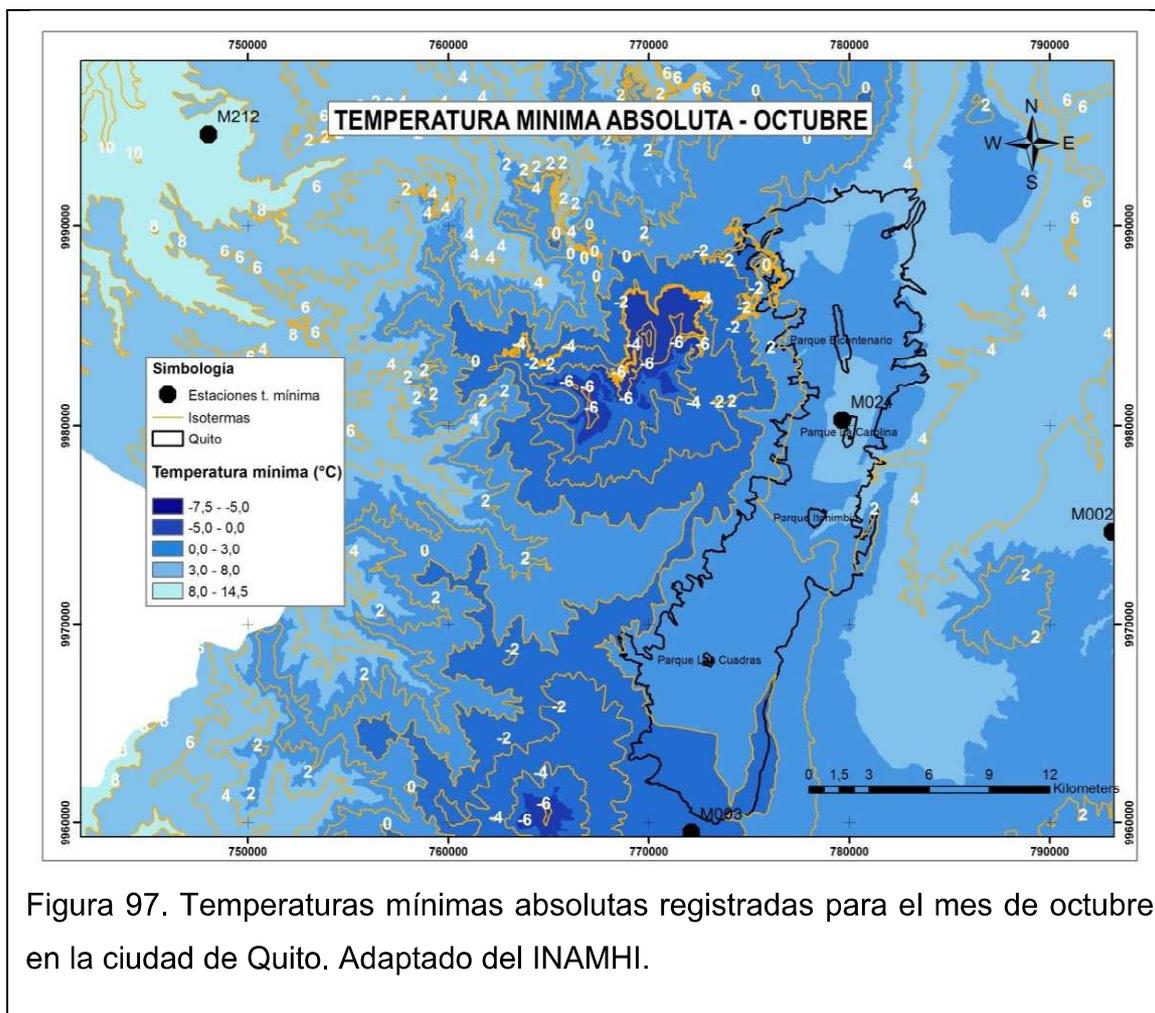


Figura 97. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de octubre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Noviembre

Considerado uno de los meses más fríos del año según los registros disponibles. Según el comportamiento de la temperatura, en el sur de la ciudad las temperaturas pueden alcanzar valores inferiores a los -4°C hasta alcanzar los 0°C en el centro, para el resto de la ciudad los valores oscilan entre 0° - 2°C lo cual no difiere significativamente de otros meses.

Rango: -4° - 2°C .

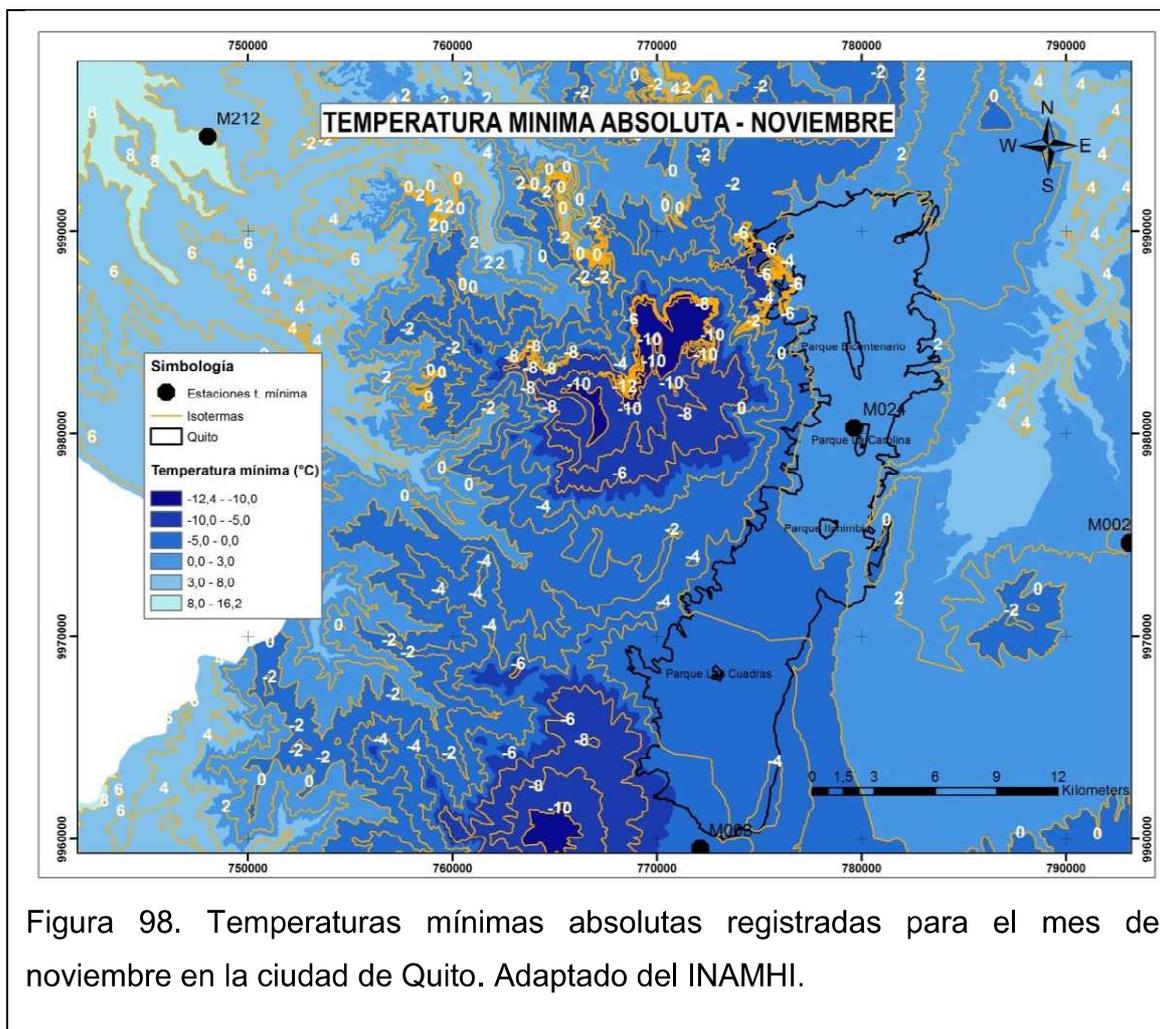
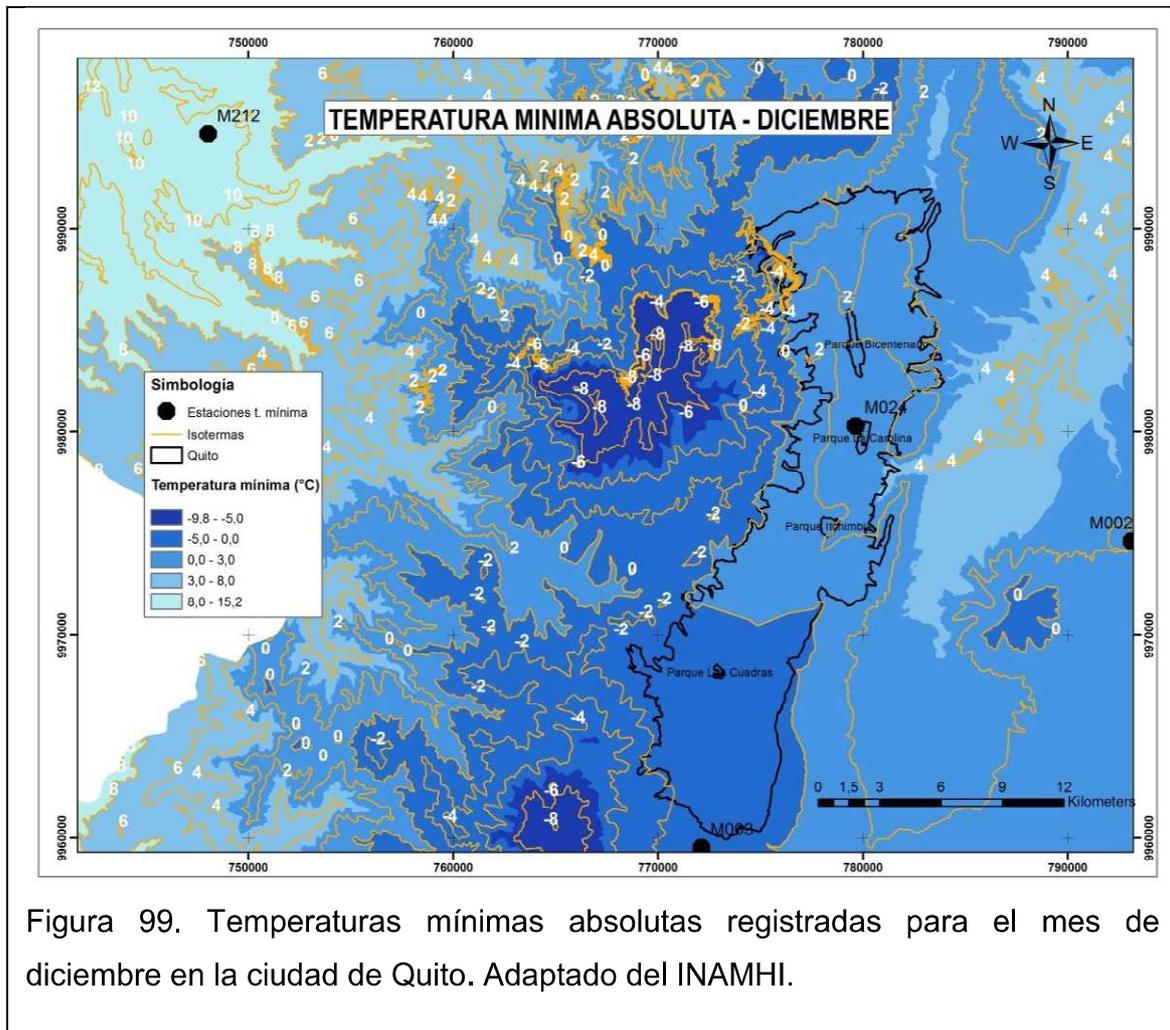


Figura 98. Temperaturas mínimas absolutas registradas para el mes de noviembre en la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Diciembre

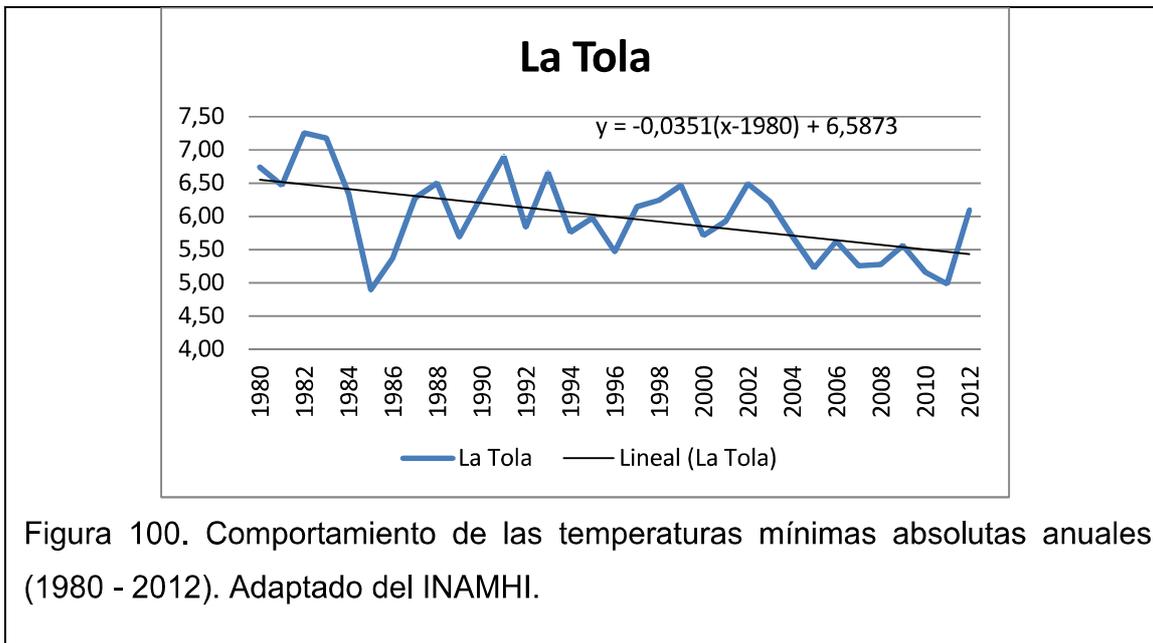
Es un mes frío en el sur de la ciudad, los valores pueden ser bajo 0°C . En el centro - sur puede llegar hasta los 0°C y para el resto de la ciudad hasta los 3°C (figura 99).

Rango: $-1^{\circ} - 3^{\circ}\text{C}$.

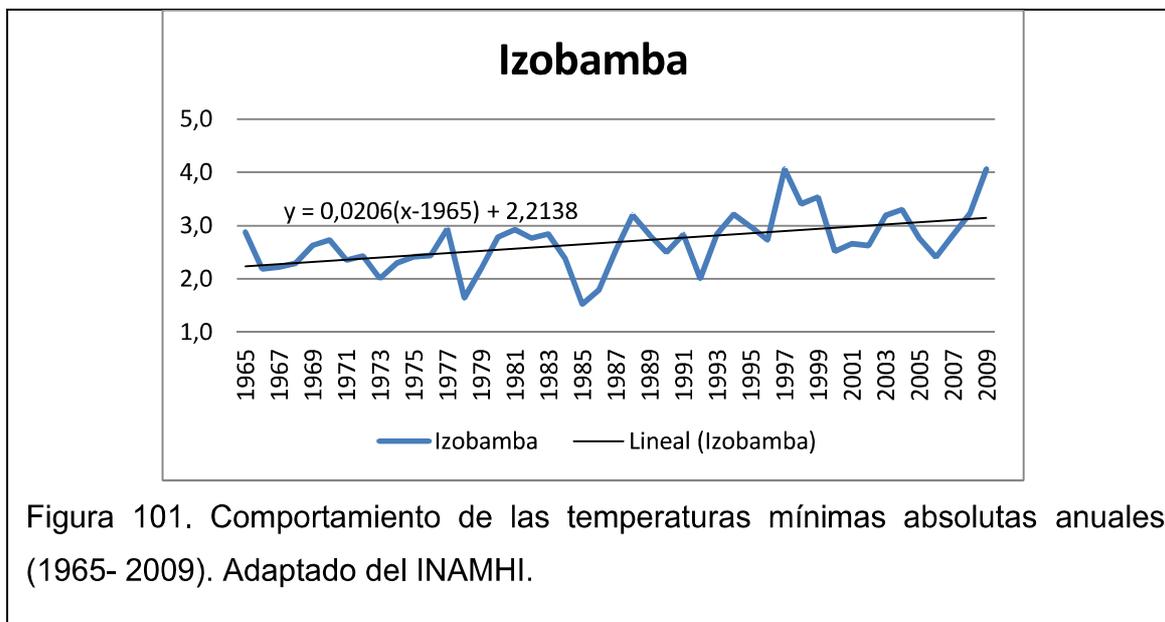


2.3.4.2. Tendencia de la temperatura mínima promedio anual

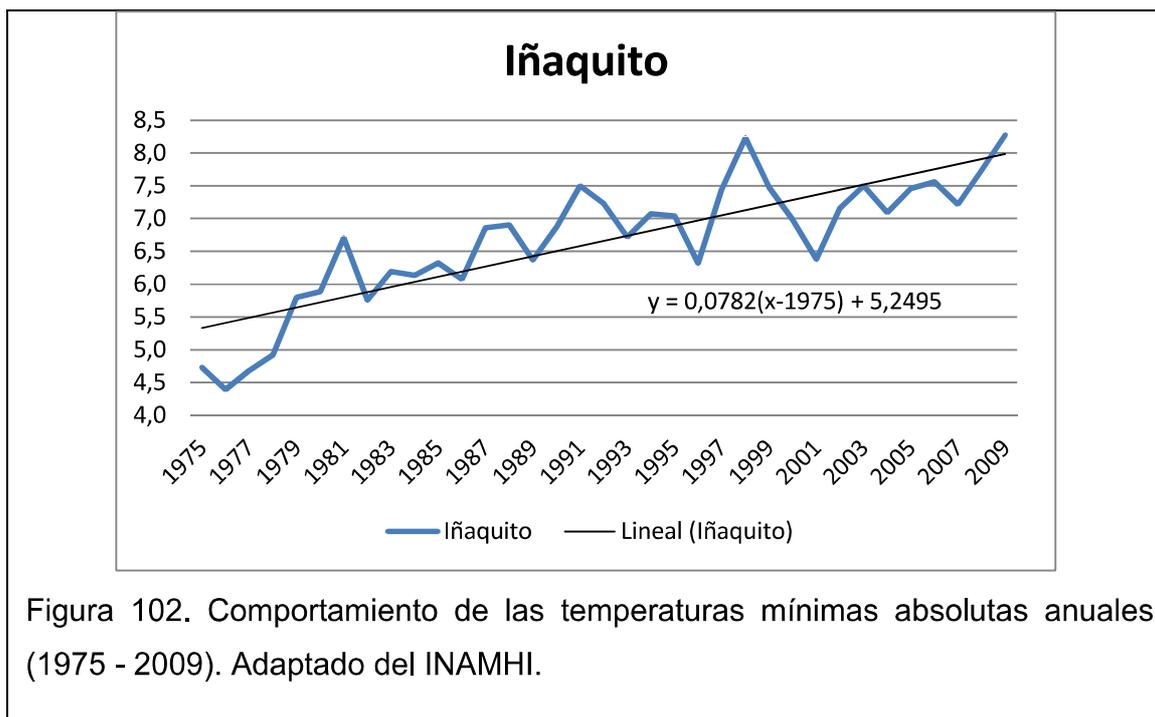
La Tola (M002): La estación ubicada en el valle oriental de la ciudad presenta una tendencia a la baja en más de 1°C en 32 años de registros. Cabe recalcar que se encuentra ubicada a menor altitud que el promedio de altura dentro de la ciudad. Para el año 2020 se estima un valor de 5.14°C y para el año 2050 de 4.09°C .



Izobamba (M003): En el sur de la ciudad la temperatura mínima absoluta es más cálida en 1° C que hace 44 años de registros, en otras palabras, la temperatura aumenta de 2.25° - 3.2° C en promedio. El pronóstico para el año 2020 es de 3.34°C y de 3.98°C para el año 2050.



Iñaquito (M024): La zona norte representada por la estación Iñaquito ha evolucionado desde 5.4° - 8° C, es decir, 2.6°C de aumento en 33 años de registros. Su incremento es el mayor registrado en toda la ciudad, para el año 2020 se estima un valor próximo a los 8.84°C y de 11.19°C para el año 2050.



2.3.4.3. Análisis de la temperatura mínima promedio en terrazas

El lugar más frío en promedio se presenta en la zona de Belisario, ubicada en el centro - norte de la ciudad. El segundo y tercer lugar más frío se alterna según la época del año, y para los meses de febrero, marzo y abril, El Camal (centro - sur) es el segundo más frío, y Cotocollao el tercero. En los meses de mayo a septiembre la condición cambia y los demás meses se alternan. Cabe recalcar que esta variación es bastante homogénea. Otra característica observada es que el mes de junio presenta la mayor variación temperatura mínima mensual en el año (figura 103).

Rango: 5.22° - 8.31°C.

Tabla 28. Temperatura mínima promedio mensual de las estaciones ubicadas en terrazas

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
COTOCOLLAO	7,29	6,90	7,51	8,23	7,41	7,19	6,64	7,13	6,70	7,69	6,64	5,22
BELISARIO	7,28	6,22	6,62	7,47	7,12	5,98	6,05	6,61	7,66	6,85	6,71	5,99
EL CAMAL	8,16	6,46	7,47	8,20	7,96	8,31	7,76	8,19	7,99	7,06	7,68	5,54

Nota: Los recuadros marcados con color azul oscuro representan los datos mínimos mientras que el color más tenue los valores máximos. Elaboración: Autor.

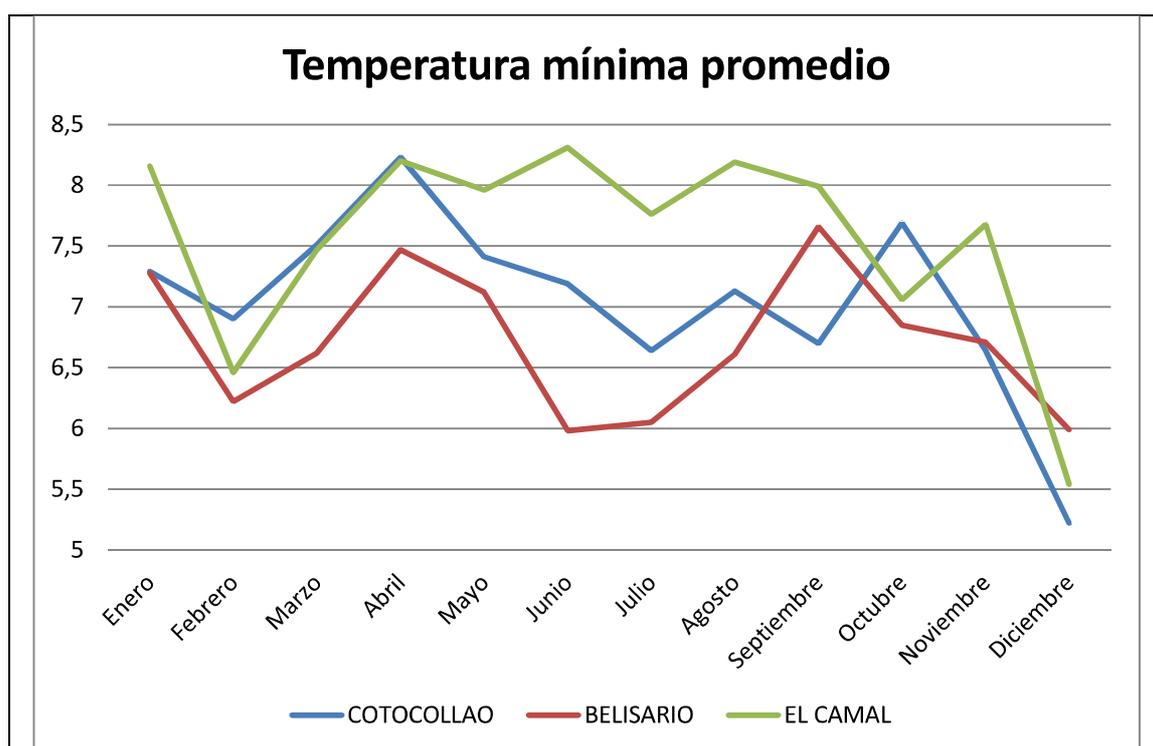


Figura 103. Comportamiento anual de la temperatura mínima promedio en terrazas. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ).

2.3.5. Heliofanía y radiación solar.

Es necesario identificar su comportamiento ya que influye sobre la evapotranspiración y en el desarrollo de las especies vegetales ya que provoca el crecimiento vegetativo.

La falta de estaciones en el DMQ y en sus inmediaciones obliga a que el análisis sea realizado utilizando gráficos del comportamiento de forma muy puntual. Para lo que se evidencia el siguiente patrón:

2.3.5.1. Heliofanía promedio

Enero

Un mes donde se conservan muchas precipitaciones en la zona sur de la ciudad, por lo tanto la cantidad de horas luz directa de sol supera las 5 horas en promedio, hacia el centro - norte aumenta aproximadamente en media hora y hacia el norte mucho más ya que es una zona seca (figura 104).

Rango: 5 - 6 horas.

Febrero

A medida que la temporada lluviosa se presenta con más intensidad, las horas de luz directa disminuyen, y cada una de las estaciones registra un descenso de media hora a comparación del mes anterior.

Rango: 4 - 5,5 horas.

Marzo

Es un mes particularmente nublado, lo cual incide en la cantidad de luz directa que recibe la ciudad. En el sur es inferior a 4 horas, Iñaquito con media hora más en promedio y la Tola la cual tiene mucha semejanza con las condiciones meteorológicas de la zona norte presenta un poco más de luz que en Iñaquito (figura 104).

Rango: 4 - 4,5 horas.

Abril

Comparando con el mes anterior la luz aumenta en promedio para toda la ciudad, levemente pero aumenta (figura 104).

Rango: 4 - 4,6 horas.

Mayo

Este mes es característico ya que es el último de la época lluviosa y el que antecede a la época seca. Por lo tanto la cantidad de horas de luz es superior a los dos meses anteriores pero inferior a la que se presenta en el mes de enero y febrero.

Rango: 4,75 - 5,3 horas.

Junio

Primer mes de la época seca, ahora la luz directa aumenta en aproximadamente una hora para cada una de las zonas analizadas (figura 104).

Rango: 5 - 6,3 horas.

Julio y agosto

Son los meses con mayor cantidad de luz solar al año, es la época seca. Las horas de luz en toda la ciudad prácticamente son iguales, por lo que tenemos horas de luz en promedio que llegan casi a las 7,5 horas.

Rango: 6,5 - 7,5 horas.

Septiembre

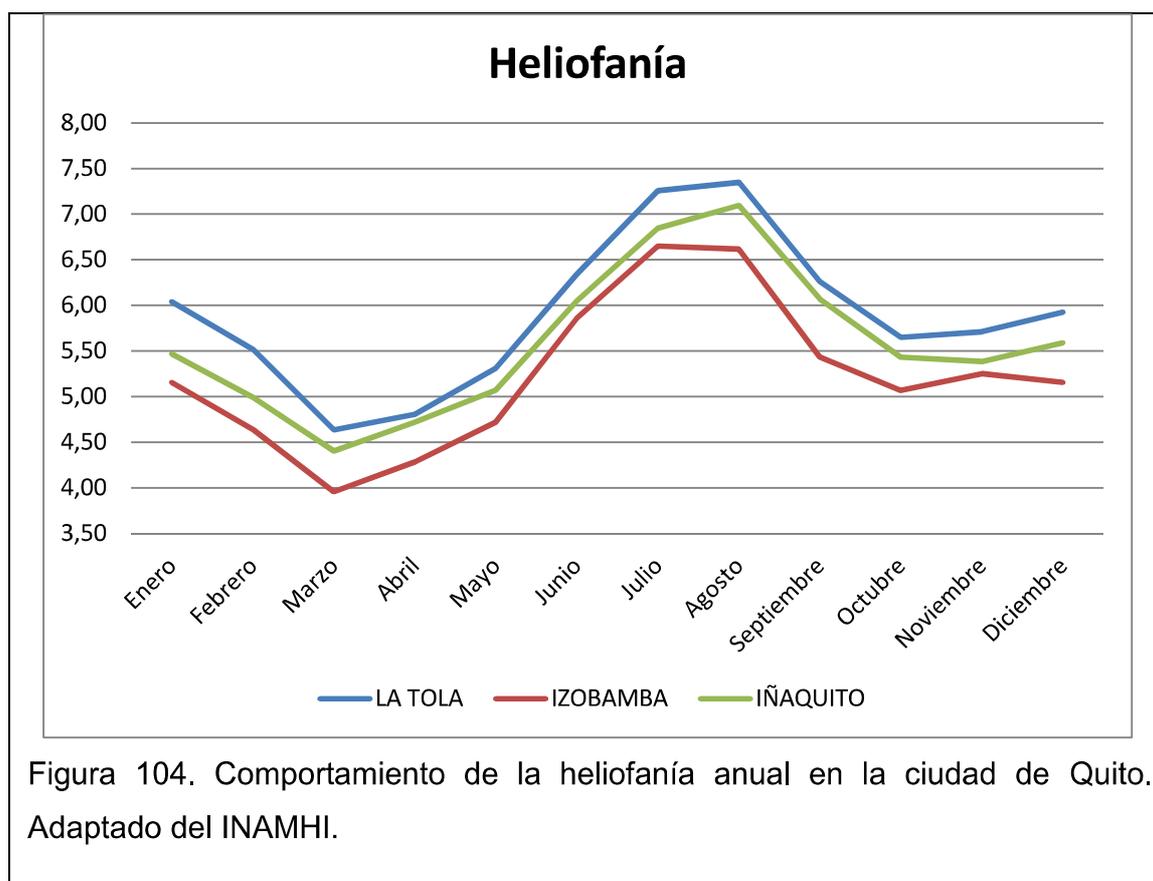
Es un mes de transición entre la época seca y lluviosa sus condiciones pueden variar de año a año por su propia condición. Sin embargo en promedio son algo más altas si lo comparamos con los meses de la época lluviosa.

Rango: 5,5 - 6,3 horas.

Octubre, noviembre y diciembre

El comportamiento homogéneo de la luz directa promedio en la ciudad es prácticamente evidente (figura 104), si se continua con el siguiente periodo anual este comportamiento se mantiene hasta el mes de enero. El sur mantiene su condición de zona con mayor nubosidad, luego viene el centro y el norte que es la zona que mayor cantidad de luz directa recibe.

Rango: 5 - 6 horas.



2.3.5.2. Radiación solar promedio

Los valores promedio que las estaciones registraron en los 6 años de mediciones, demuestran que la época lluviosa (febrero - abril) presenta mucha nubosidad, tanto que los valores descienden como en ninguna otra época del año.

Enero

Valores constantes en toda la ciudad (figura 105). Sin embargo son los meses de mayor radiación en todo el año para la zona centro - norte (Belisario) y centro sur (Camal) de la ciudad.

Rango: 5100 - 5300 W/m²

Febrero

El descenso en las medidas representa un 70% menor a la registrada en el mes anterior. Las estaciones se mantienen en valores muy similares (figura 105).

Rango: 3500 - 3700 W/m²

Marzo

Se presenta un leve aumento a las condiciones comparado con el mes de febrero, su patrón es relativamente homogéneo (figura 105).

Rango: 3900 - 4100 W/m²

Abril

Es el mes donde se acentúa más los registros mínimos y el patrón de homogeneidad, es decir, a lo largo de la ciudad las condiciones son bastante similares (figura 105).

Rango: 3500 - 3600 W/m²

Mayo

El patrón de homogeneidad mantenido en los últimos meses es alterado ya que las condiciones meteorológicas en la zona norte (Cotocollao) son diferentes a lo presentado en la zona centro - norte y sur de la ciudad, donde las condiciones en estas dos zonas son semejantes (figura 105).

Rango: 4200 - 4800 W/m²

Junio

La homogeneidad en toda la ciudad no se presenta, el centro - norte y el sur mantienen valores muy cercanos de radiación solar promedio.

Rango: 4100 - 4500 W/m²

Julio

Se sobre pasan los 4500 w/m². Las condiciones de mayor radiación se presentan en el norte de la ciudad, seguida por el centro - norte (Belisario) y muy cerca a esta las condiciones en la zona centro - sur (camal) (figura 105). Se presume que más hacia el sur los registros deben ser menores.

Rango: 4500 - 4900 W/m²

Agosto

La zona centro - norte (Belisario) en promedio se asemeja mucho más a la zona norte que a la zona sur (Camal), lo cual no se evidencia en otros meses de la época seca. Los registros aumentaron para todas las estaciones (figura 105).

Rango: 4800 - 5100 W/m²

Septiembre

Este mes presenta en promedio la mayor incidencia de radiación en la zona de norte (Cotocollao). Las demás zonas presentan los segundos valores más altos, después de enero.

Rango: 5000 - 5300 W/m²

Octubre

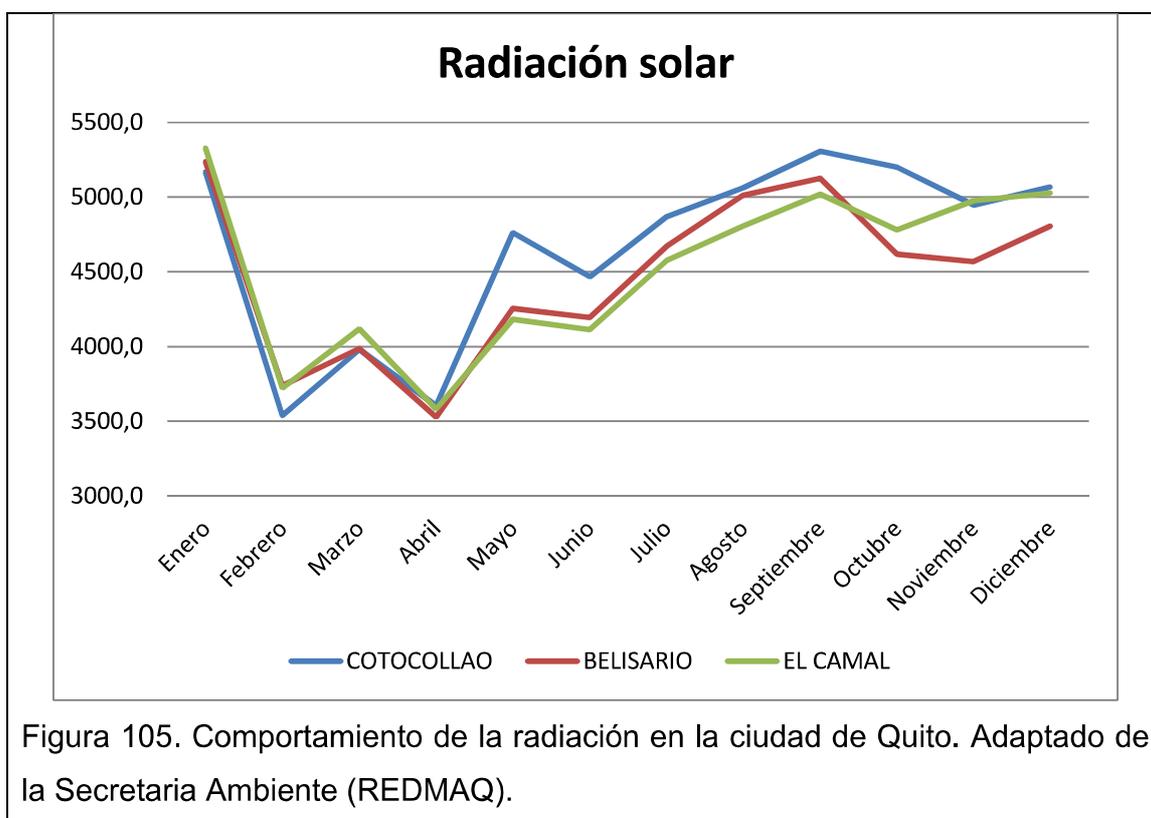
En este mes aunque son altos los valores de radiación solar en la ciudad, comparándolo con el primer semestre del año, la radiación más baja se presenta en la zona centro - norte (Belisario), seguida por El Camal y Cotocollao que presenta consecutivamente un registro elevado.

Rango: 4600 - 5200 W/m²

Noviembre y diciembre

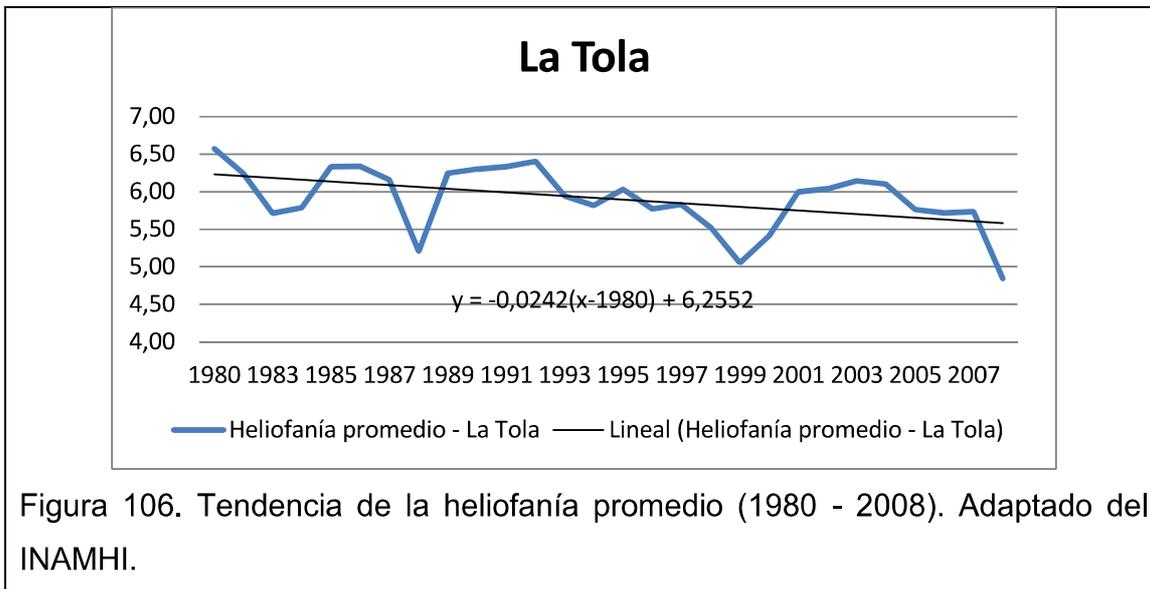
Las estaciones ubicadas en el centro - sur (El Camal) y norte (Cotocollao) presentan valores relativamente semejantes. Mientras que Belisario aún posee los registros más bajos de la ciudad.

Rango: 4500 - 5100 W/m²

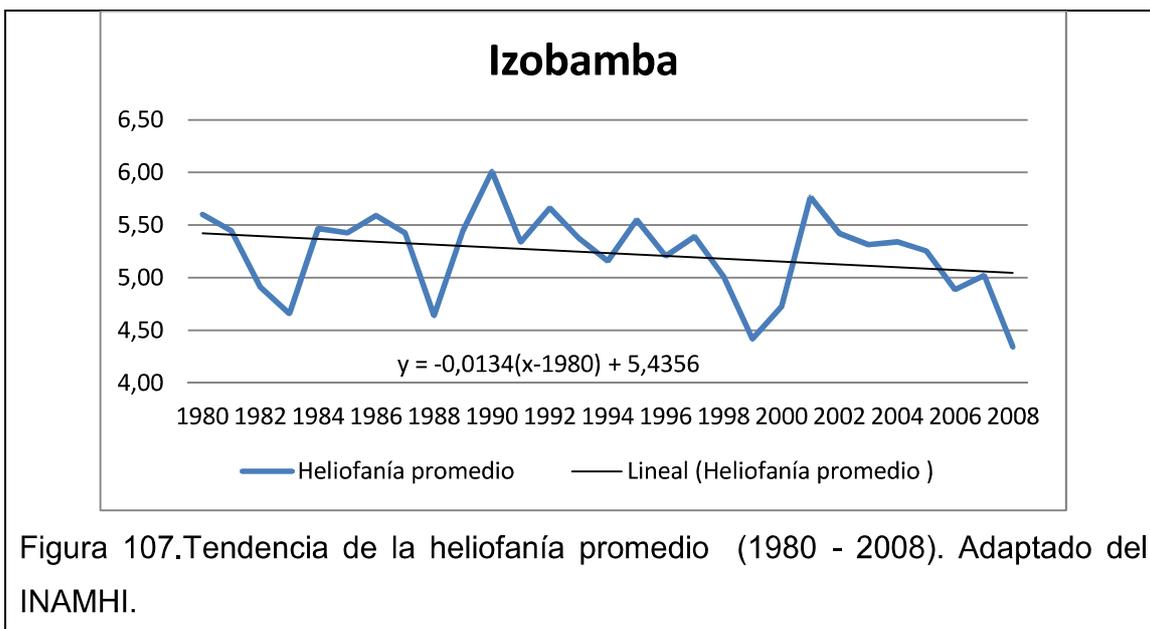


2.3.5.3. Tendencias de la heliofanía

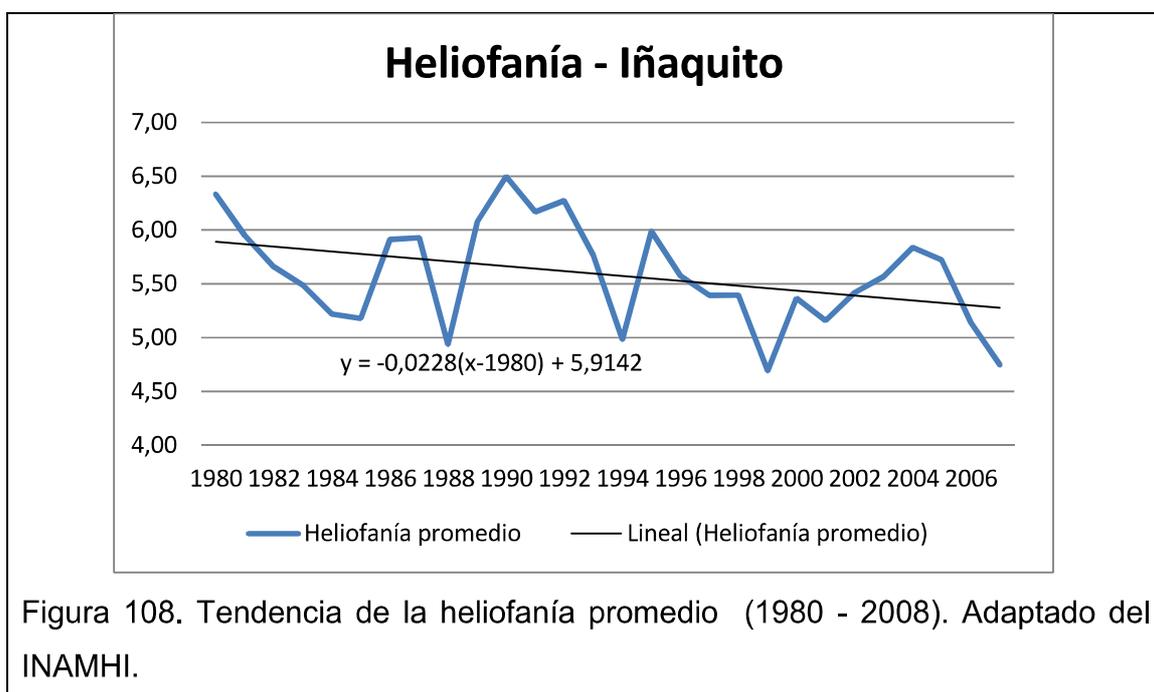
La Tola (M002): Los registros de esta estación ubicada en el oriente del DMQ, denotan la disminución de las horas de luz directa (figura 106) para el periodo (1980 - 2007) aproximadamente en 48 minutos (0.65 horas). El pronóstico para el año 2020 será de 5.29 horas y de 4.57 horas para el año 2050.



Izobamba (M003): En el periodo de tiempo 1980 - 2008 (figura 107), las condiciones meteorológicas se han presentado de tal manera que en promedio la cantidad de horas de luz directa se ha reducido en 25 minutos (0.38 horas). El pronóstico mantiene la reducción y se pronostica 4.88 horas para el 2020 y 4.48 horas para el 2050.



Iñaquito (M024): El valor promedio de heliofanía anual en la zona centro - norte de la ciudad posee tendencia a descender, esto quiere decir que aproximadamente hasta el año 2006, la luz directa del sol se había reducido en aproximadamente 37 minutos (figura 108). Su reducción se mantiene y se espera 4.98 horas para el 2020 y 4.29 para el 2050.



2.3.6. Velocidad y dirección del viento

Una vez determinada la base de datos a utilizar, se elabora una clasificación promedio de la dirección considerando 8 puntos cardinales de la rosa de los vientos, los mismos que permiten clasificar el universo de registros y designarles una dirección promedio. Una vez clasificados los valores por dirección, se obtiene la media de la velocidad para cada una de ellas. Finalmente, se obtiene un valor puntual y único para cada zona donde se encuentra instalada la estación

meteorológica. Este consiste en determinar para cada mes la dirección más frecuente y la velocidad promedio del universo (total de registro), en otras palabras es una representación de la dirección más frecuente (rosa de vientos) y la velocidad promedio sobre un mapa.

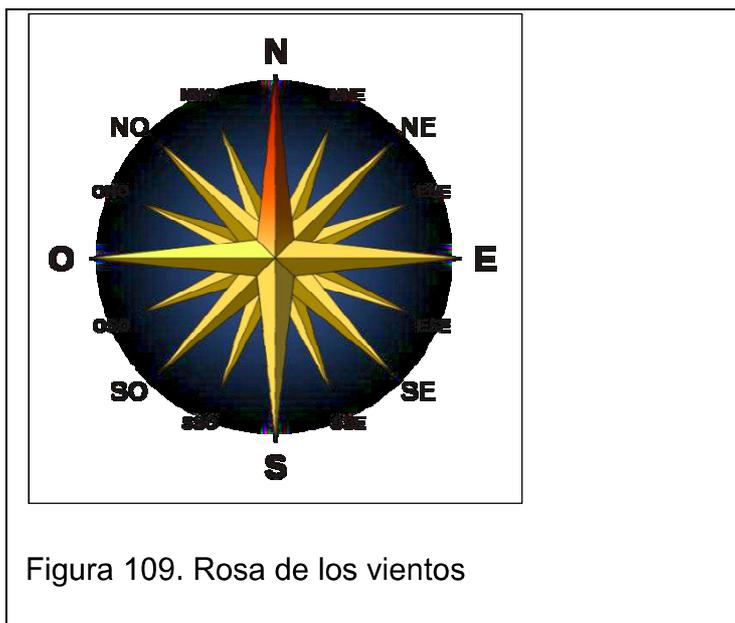


Tabla 29. Dirección del viento y su relación entre punto cardinal y rango en grados sexagesimal.

Punto Cardinal	Rango (°)
N	(337.5 - 360) y (0 - 22.5)
NE	22.5- 67.5
E	67.5 - 112.5
SE	112.5 - 157.5

S	157.5 - 202.5
SO	202.5 - 247.5
O	247.5 - 292.5
NO	292.5 - 337.5

El viento al igual que las variables antes presentadas influye en la evapotranspiración, además que incentiva a las especies vegetales a desarrollar mayor tejido vegetal en las zonas de sostén (raíces y troncos), sin embargo, un exceso del mismo puede limitar su crecimiento (Goldberg y Kin, 2003). Conocer la dirección y la magnitud de los vientos ayuda al cultivo siempre y cuando se considere protegerlo de la dirección más frecuente del viento.

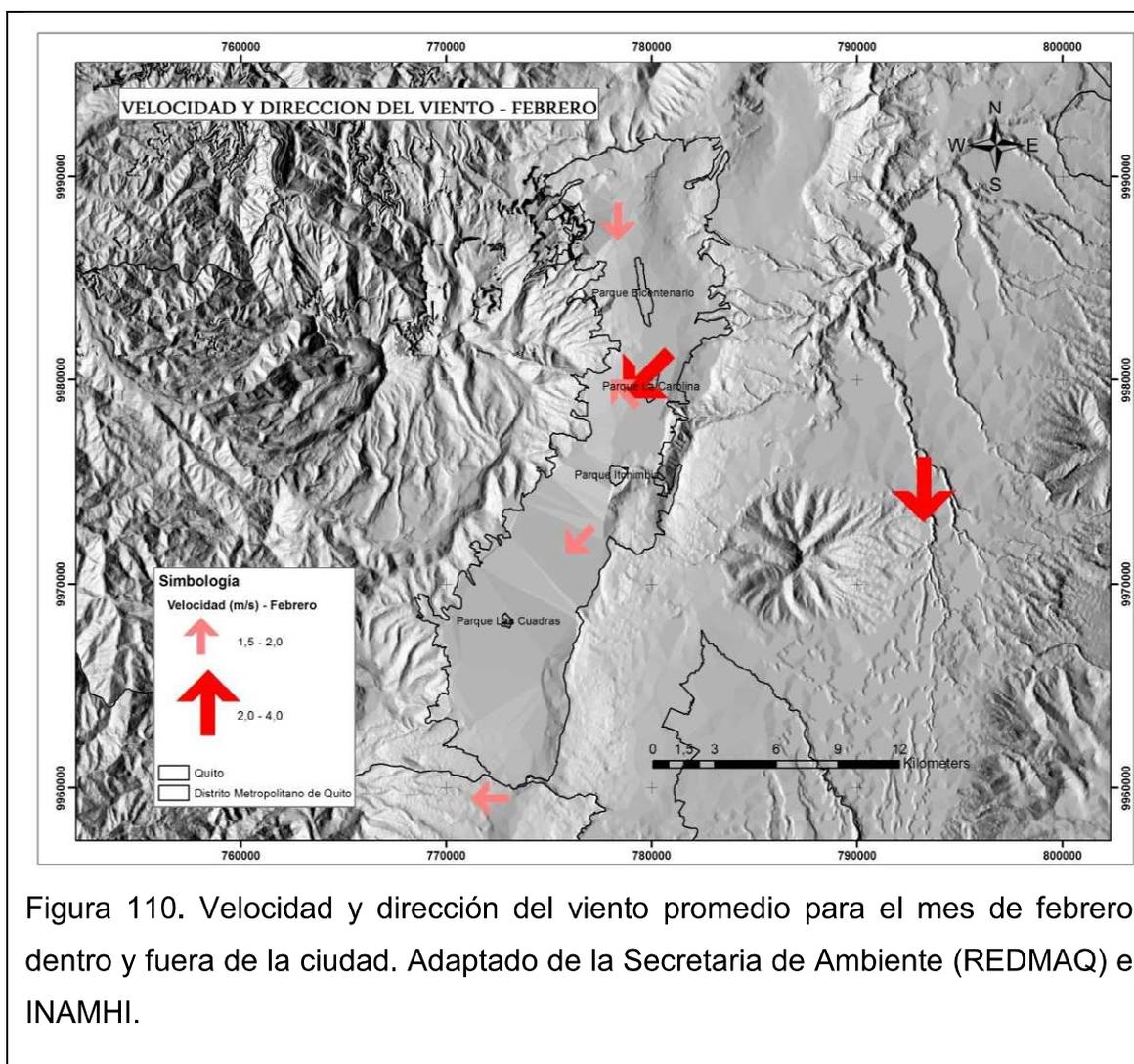
Los mapas fueron realizados utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), específicamente ArcGis 10.1. La idea fue representar gráficamente dentro y fuera de la ciudad como el viento se comporta para cada uno de los meses del año, esta imagen montada sobre una base de Modelo Digital de Elevación (DEM) o relieve, con el objeto de recrear un espacio e interpretar su posible movimiento a través de las características morfológicas de la ciudad.

Enero y febrero

En la zona norte de Cotocollao los vientos provienen en su mayoría del Norte y son de hasta 2 m/s en promedio, hay que tomar en cuenta que la medición se la realiza a 8 m. del nivel del suelo (figura 109). Hacia el sur, en la zona de Ññaquito los vientos alcanzan hasta los 4 m/s provenientes del Noreste, esto registrado en mediciones realizadas a 2 m. del nivel del suelo. En la zona próxima a Ññaquito, Belisario la estación se encuentra ubicada en las laderas del Pichincha y sus mediciones son en promedio de hasta 2 m/s provenientes del Sureste en su

mayoría, mediciones realizadas a 7 m. del suelo. En la zona centro - sur de la ciudad en el sector del Camal, los vientos mantienen una dirección predominante desde el Noreste a una velocidad promedio de hasta 2 m/s, mediciones realizadas a 8 m. del suelo. En la zona sur, muy cerca de la ciudad, los vientos se presentan en su mayoría del Este a una velocidad promedio de hasta 2 m/s, la medición es realizada a 2 m. sobre el suelo (figura 110).

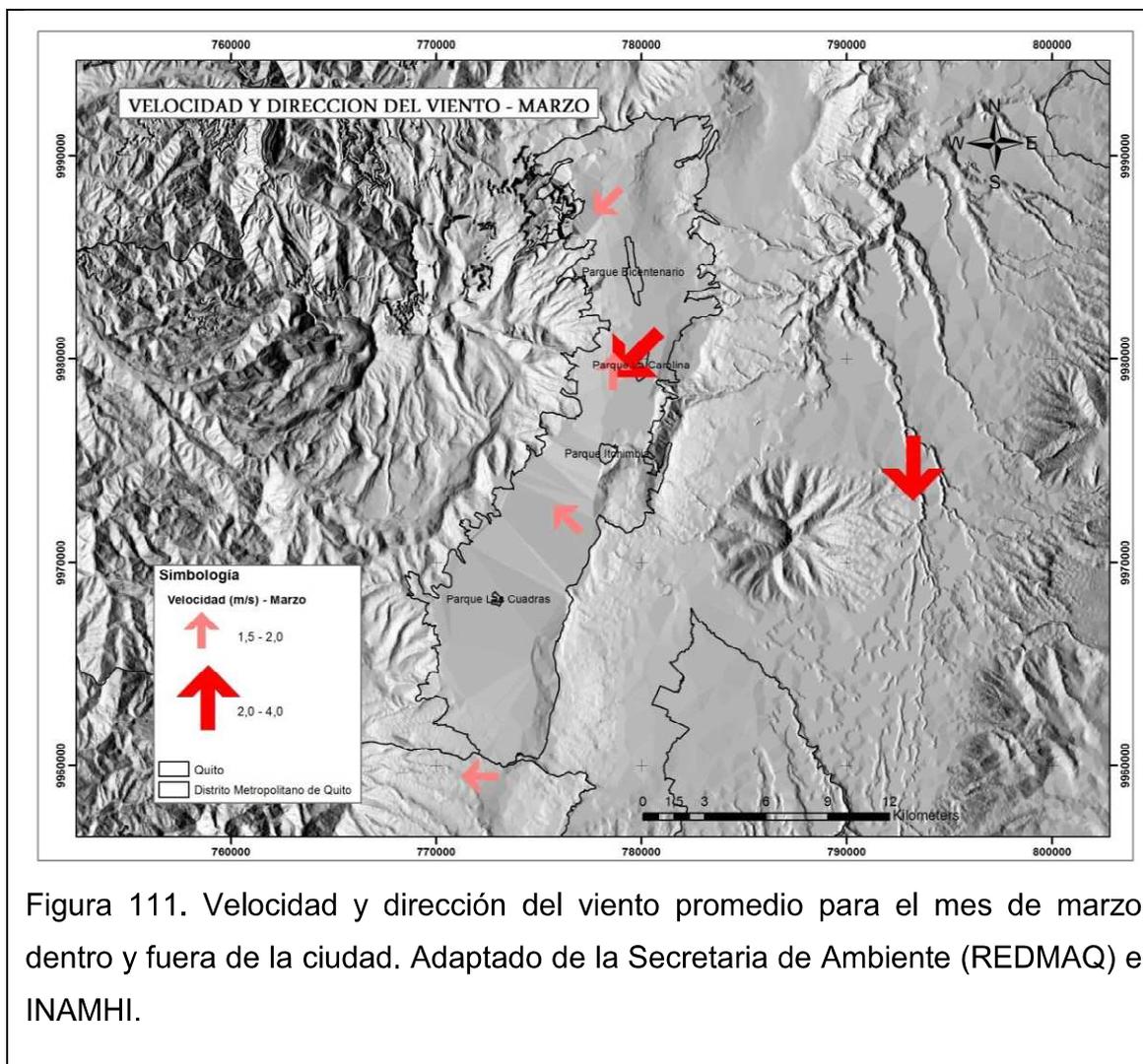
Rango: 1,5 - 4 m/s.



Marzo, abril y mayo

Se identifica una pequeña variación en la dirección del viento en la zona de Cotocollao con respecto a los anteriores meses, pasando de Norte a Noreste la mayoría de sus mediciones y mantiene, sin embargo su velocidad promedio de hasta 2 m/s es la misma. En el sector del Camal la dirección proviene del Sureste, aunque su velocidad promedio se mantiene.

Rango: 1,5 - 4 m/s.



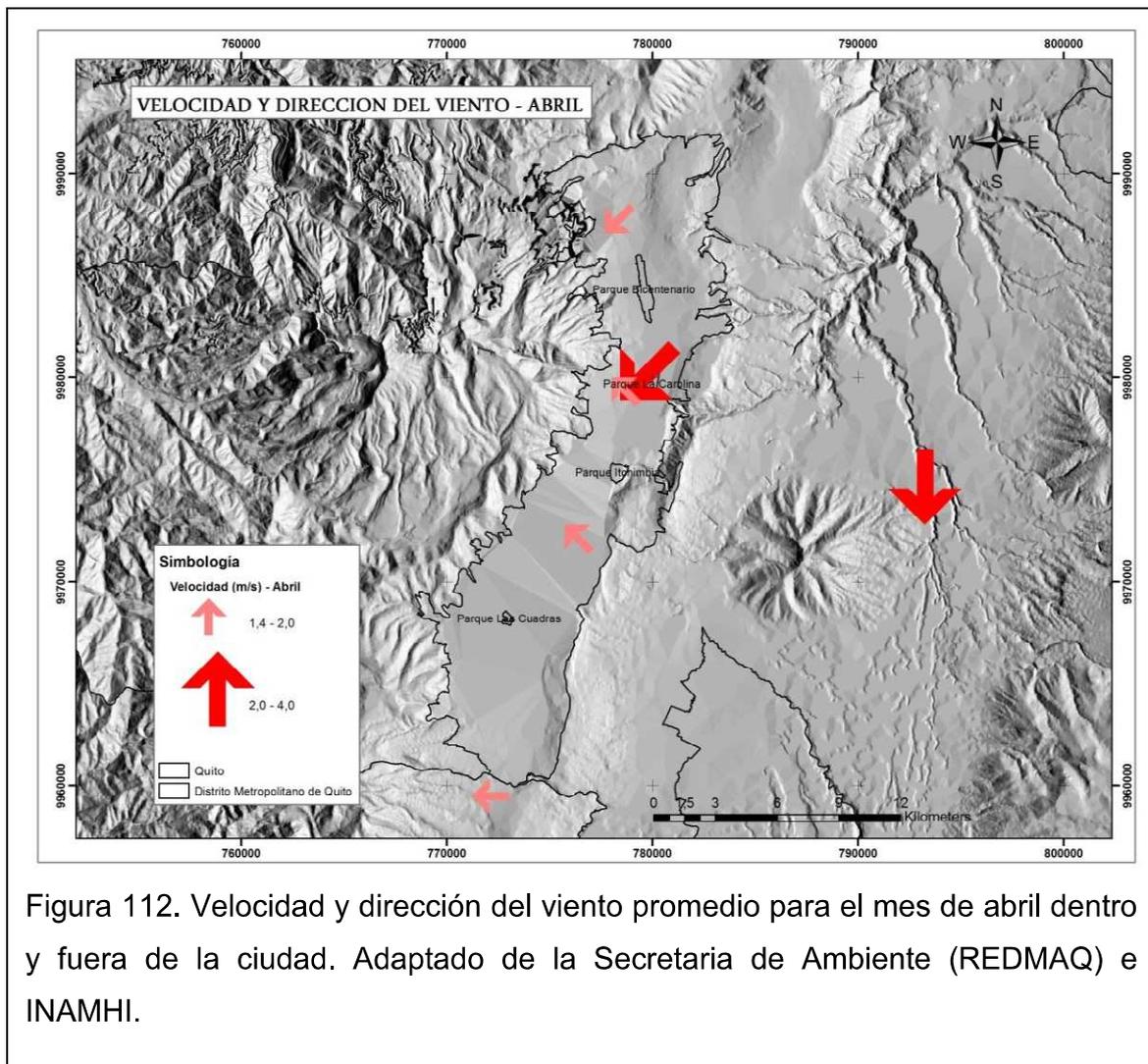


Figura 112. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de abril dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

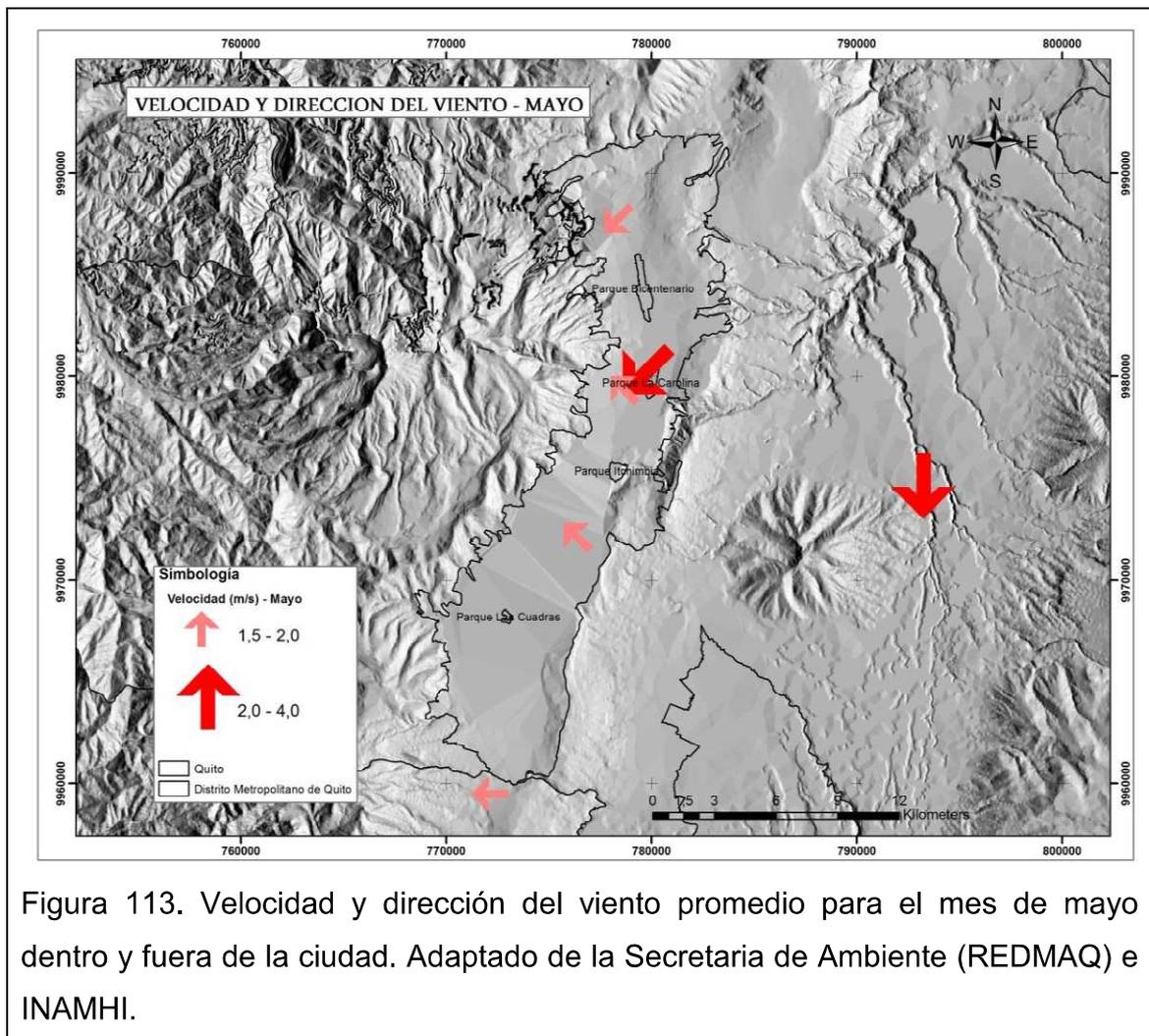
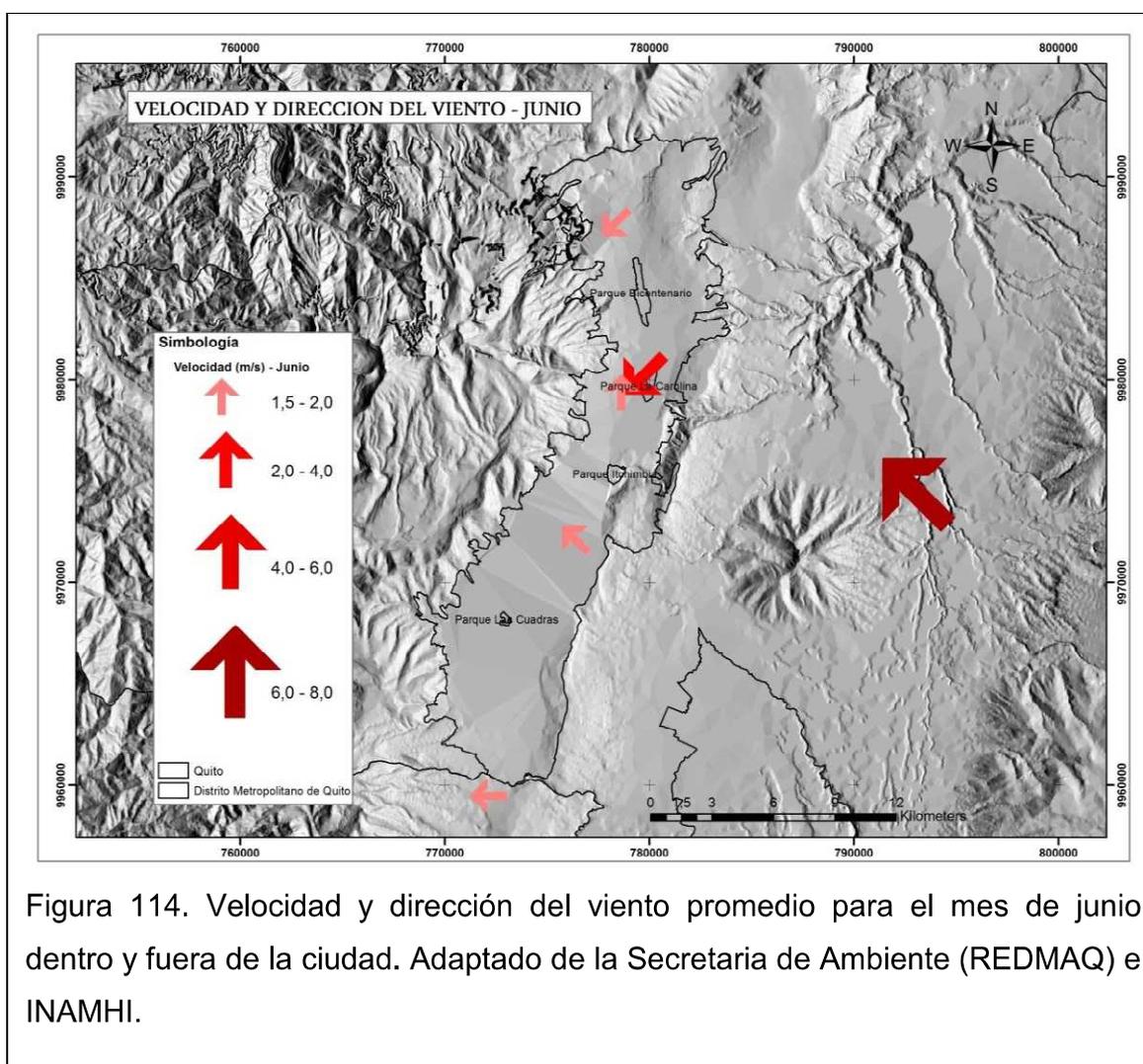


Figura 113. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de mayo dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

Junio

Dentro de la ciudad en la zona de Belisario, las condiciones de dirección del viento se modifican y el flujo en esta ocasión proviene del Sur, mientras que su velocidad promedio se mantiene constante. Se puede notar el aumento de la velocidad del viento en la zona periférica oriental de la ciudad.

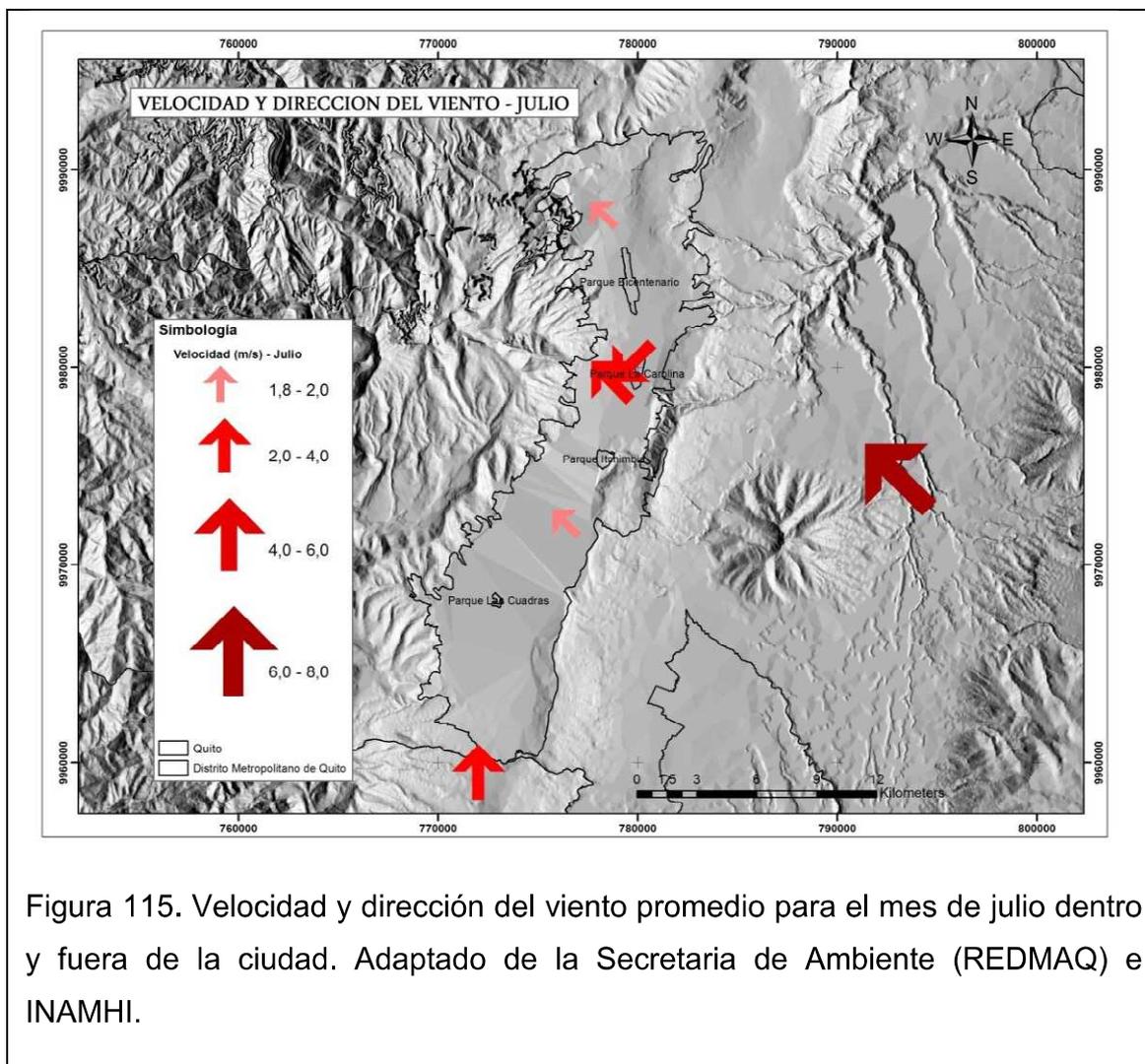
Rango: 1,58 - 3 m/s.



Julio

La dirección del viento en la zona norte de Quito (Cotacollao), cambia de Noreste hacia Sureste y su velocidad promedio se mantiene. La dirección y magnitud en Iñaquito se mantiene, mientras que en la zona próxima (Belisario) el viento proviene ahora del Sureste además que su magnitud promedio se incrementa hasta 4 m/s. Las condiciones en el sur de la ciudad cambia y ahora el viento proviene del Sur con mayor velocidad.

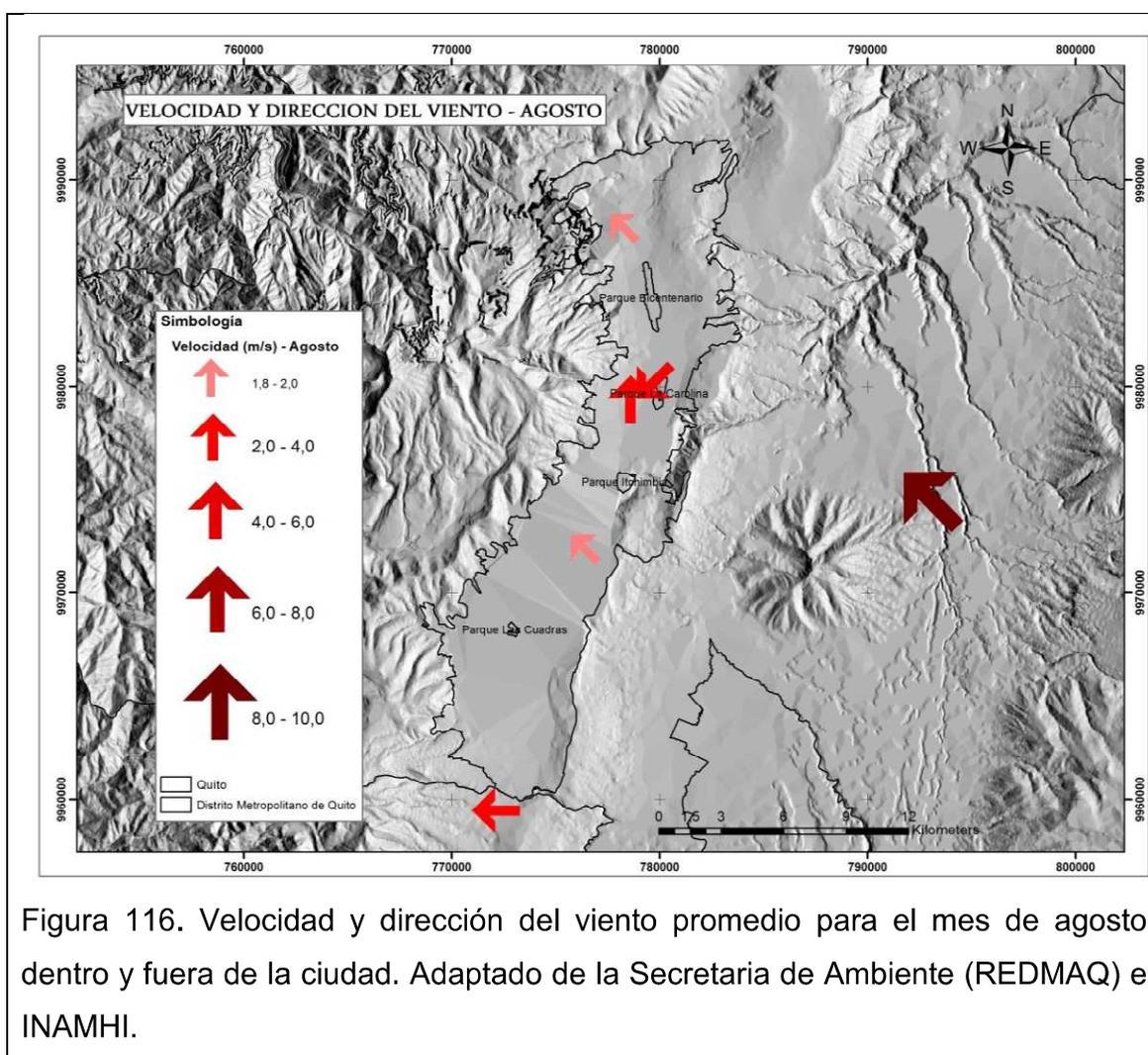
Rango: 1,77 - 3,3 m/s.



Agosto y septiembre

Dentro de la ciudad las condiciones no vari respecto al mes de Julio. Sin embargo la dirección prominente en el Sur de la ciudad cambia y esta vez su flujo proviene del Este, su magnitud en promedio se ubica hasta los 6 m/s.

Rango: 1,76 - 3,7 m/s.



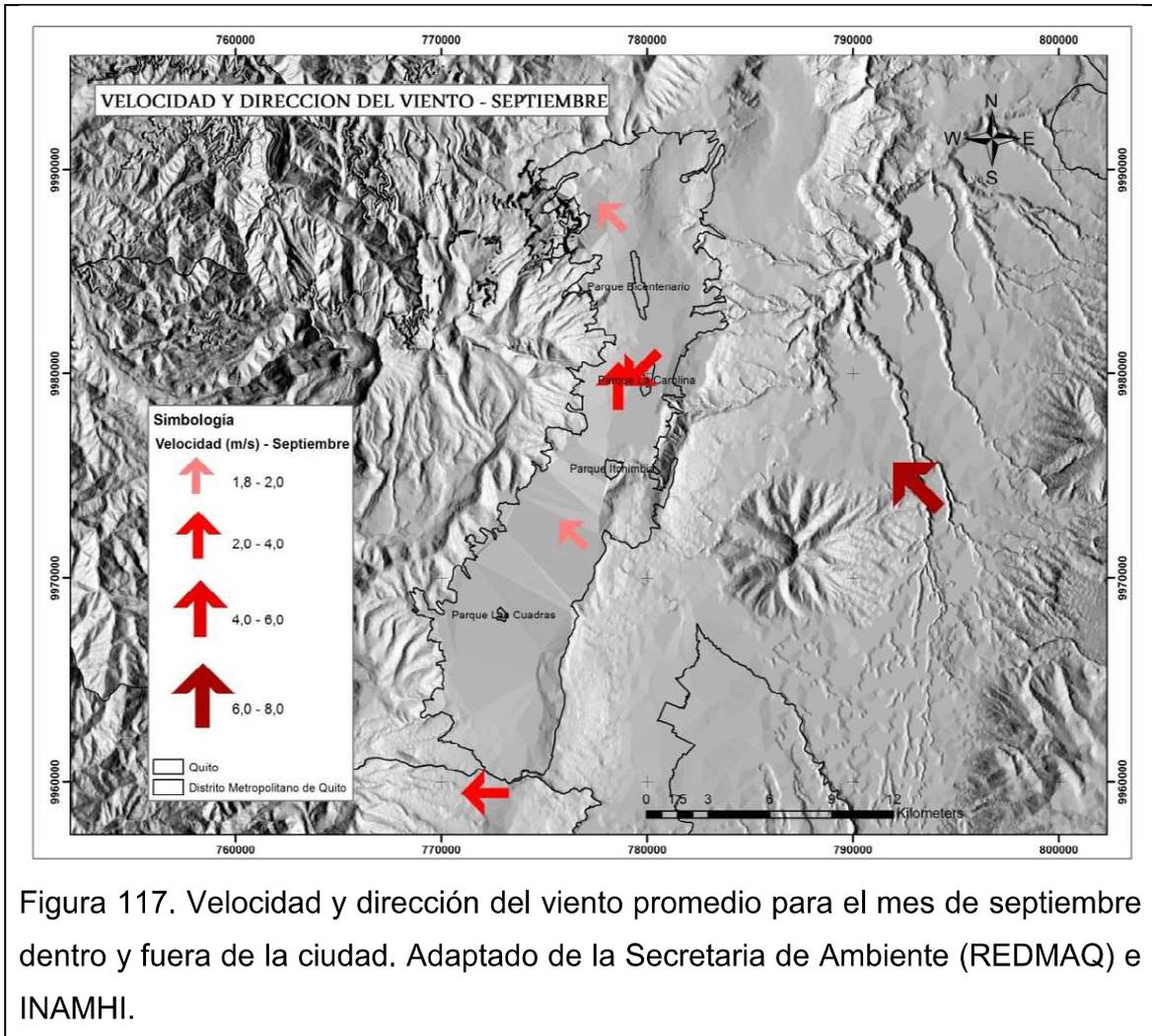


Figura 117. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de septiembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

Octubre, noviembre y diciembre

Las condiciones del viento dentro de la ciudad cambian nuevamente y ahora su patrón se asemeja en promedio a los observados en los meses de enero y febrero. Con esto podemos concluir que el año cuenta con dos patrones de viento, uno empieza en octubre y se mantiene hasta mayo (8 meses), sin cambios radicales en su comportamiento. Los siguientes 4 meses poseen cambios en la dirección y en la velocidad, lo cual coincide plenamente con el inicio de la época seca.

Rango: 1,46 - 3,1 m/s.

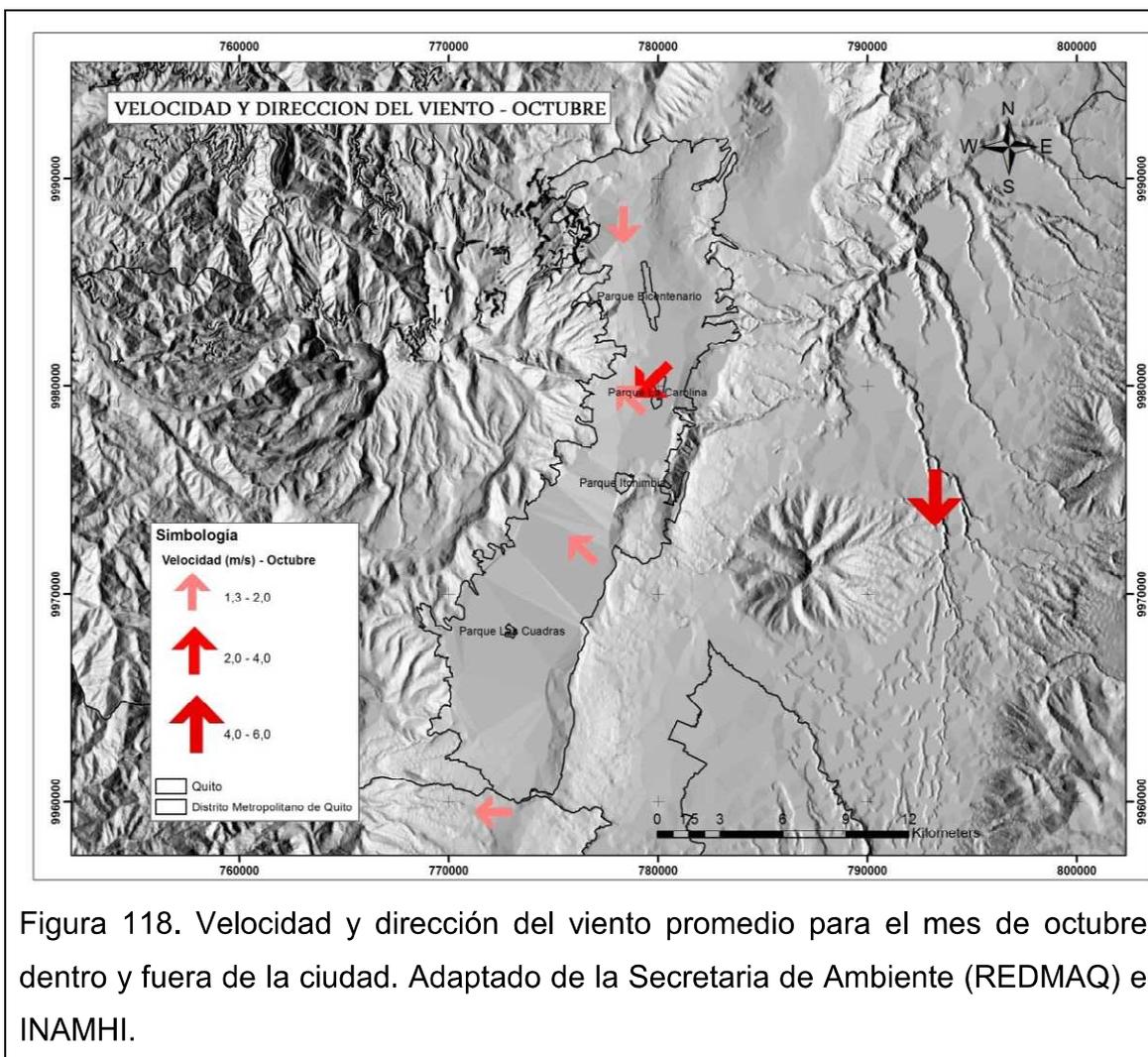


Figura 118. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de octubre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

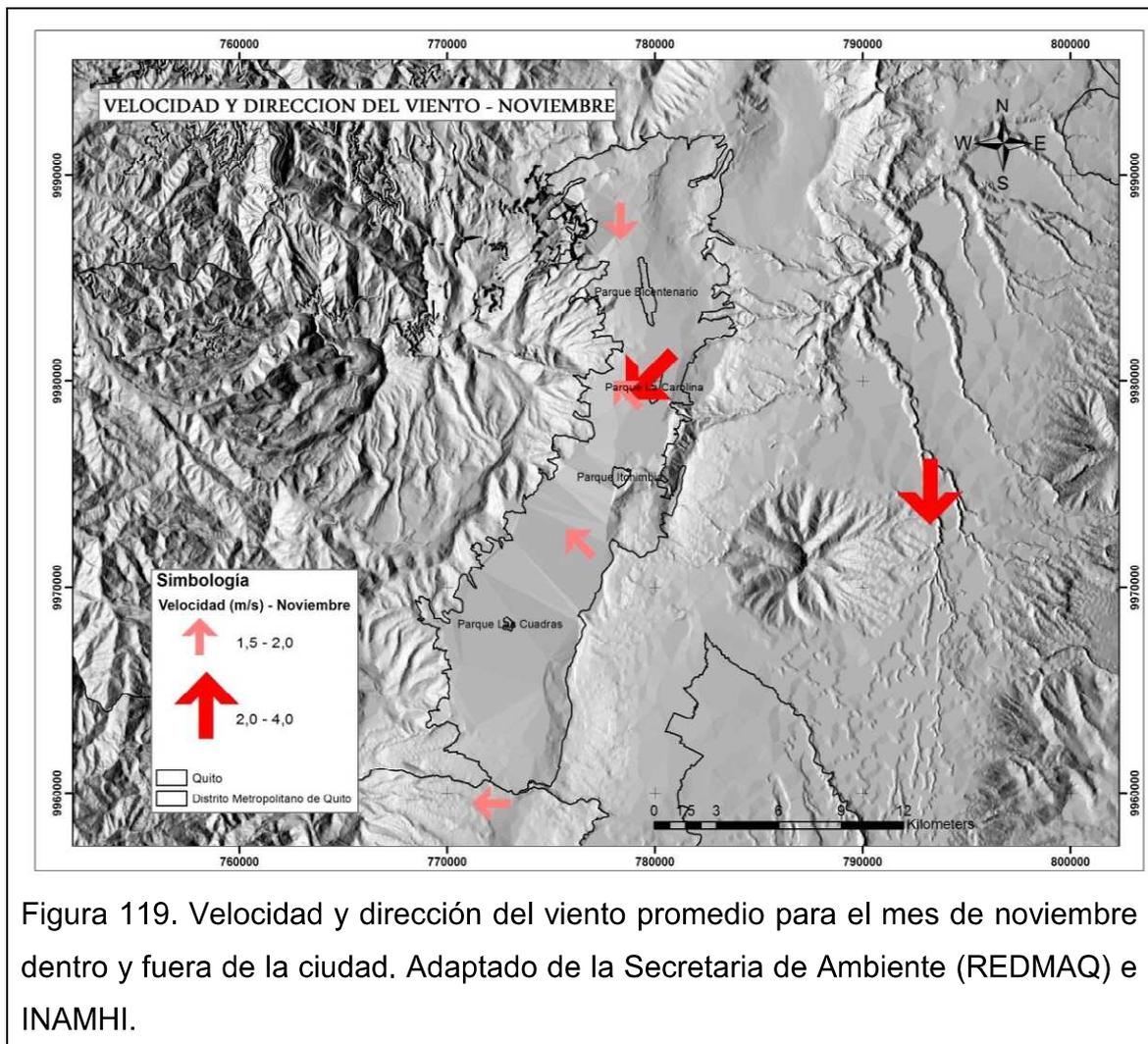


Figura 119. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de noviembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

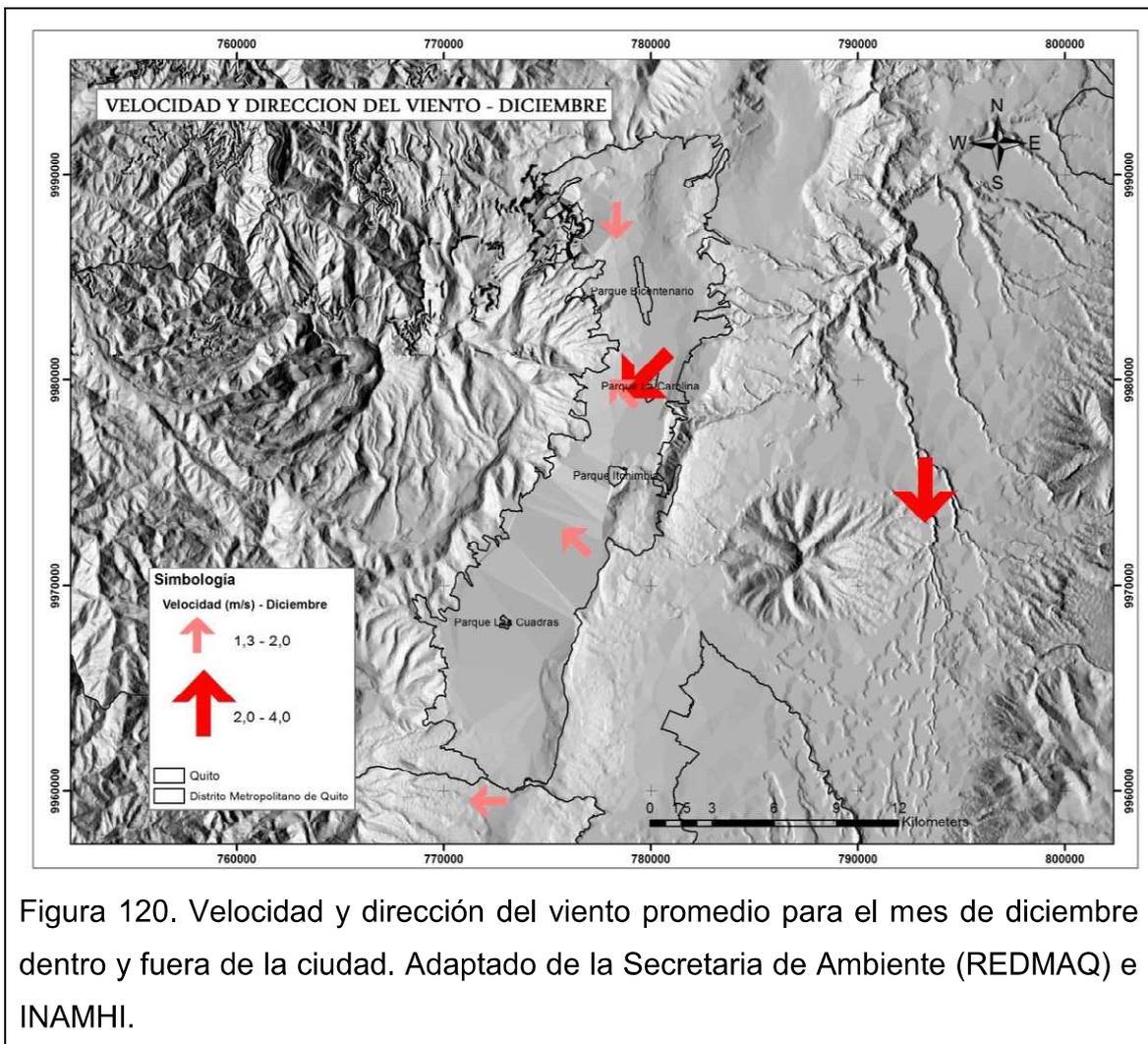


Figura 120. Velocidad y dirección del viento promedio para el mes de diciembre dentro y fuera de la ciudad. Adaptado de la Secretaria de Ambiente (REDMAQ) e INAMHI.

2.3.7. Evapotranspiración de referencia

A partir de las estaciones que cuentan con datos periódicos íntegros, se calculó la ETo según se explica en el literal 2.4.6.4. Los otros datos de ETo utilizados fueron obtenidos del INAMHI.

Para la elaboración de los mapas se utilizó la metodología de interpolación de las medias móviles (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés), que se encuentra disponible de la herramienta SIG, ArcGIS.

Enero

La cantidad de agua que se debería evapotranspirar a lo largo de la ciudad se encuentra entre 80 a 100 mm (figura 122). Este valor es superior en la zona norte e inferior en la zona sur. Cabe recalcar que estamos dentro de una época con un buen aporte de precipitaciones.

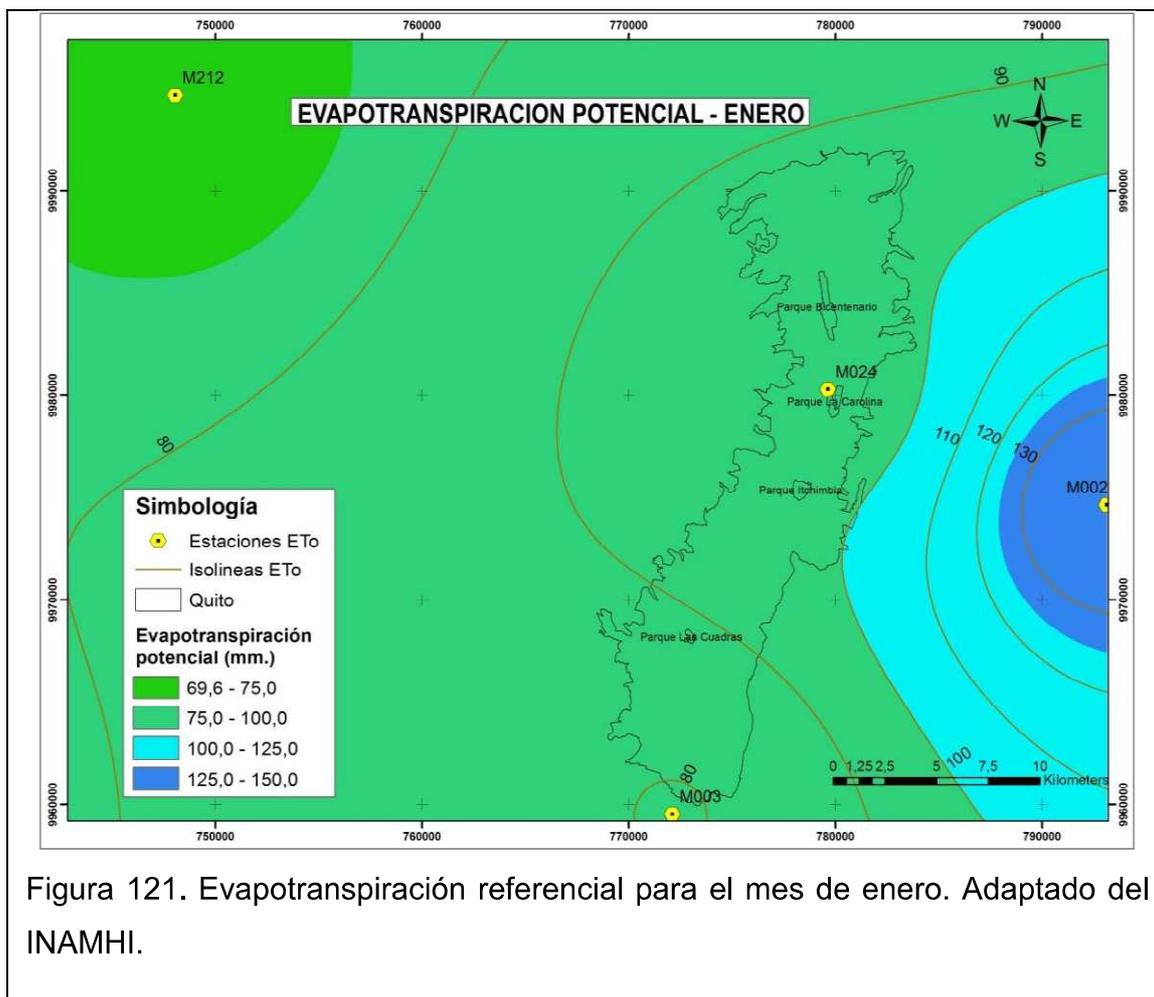


Figura 121. Evapotranspiración referencial para el mes de enero. Adaptado del INAMHI.

Febrero

Según la figura 123, la ETo requiere en promedio de 65 a 70 mm de agua. Su comportamiento a lo largo de la ciudad es homogéneo.

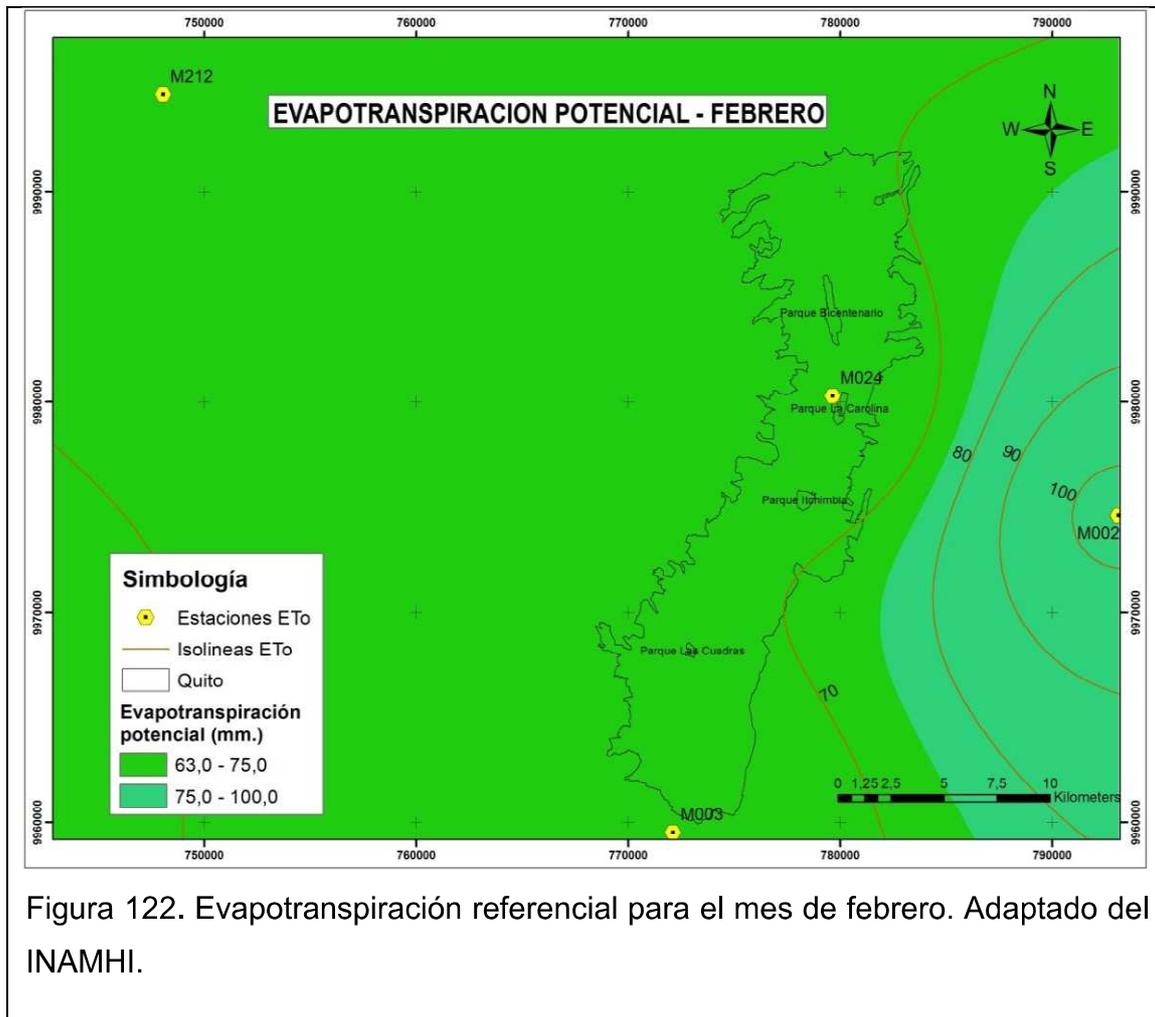


Figura 122. Evapotranspiración referencial para el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.

Marzo, abril y mayo

La mayor ETo registrada en la ciudad se presenta en la zona norte, centro y centro sur; valores inferiores a 60 mm se requieren en Ñaquito y el extremo sur de la ciudad (Izobamba) (figura 124). Para los meses consecutivos donde la época lluviosa es más energética, el comportamiento es bastante similar para los meses de abril y mayo (figura 124).

Rango: 60 - 70 - 90.

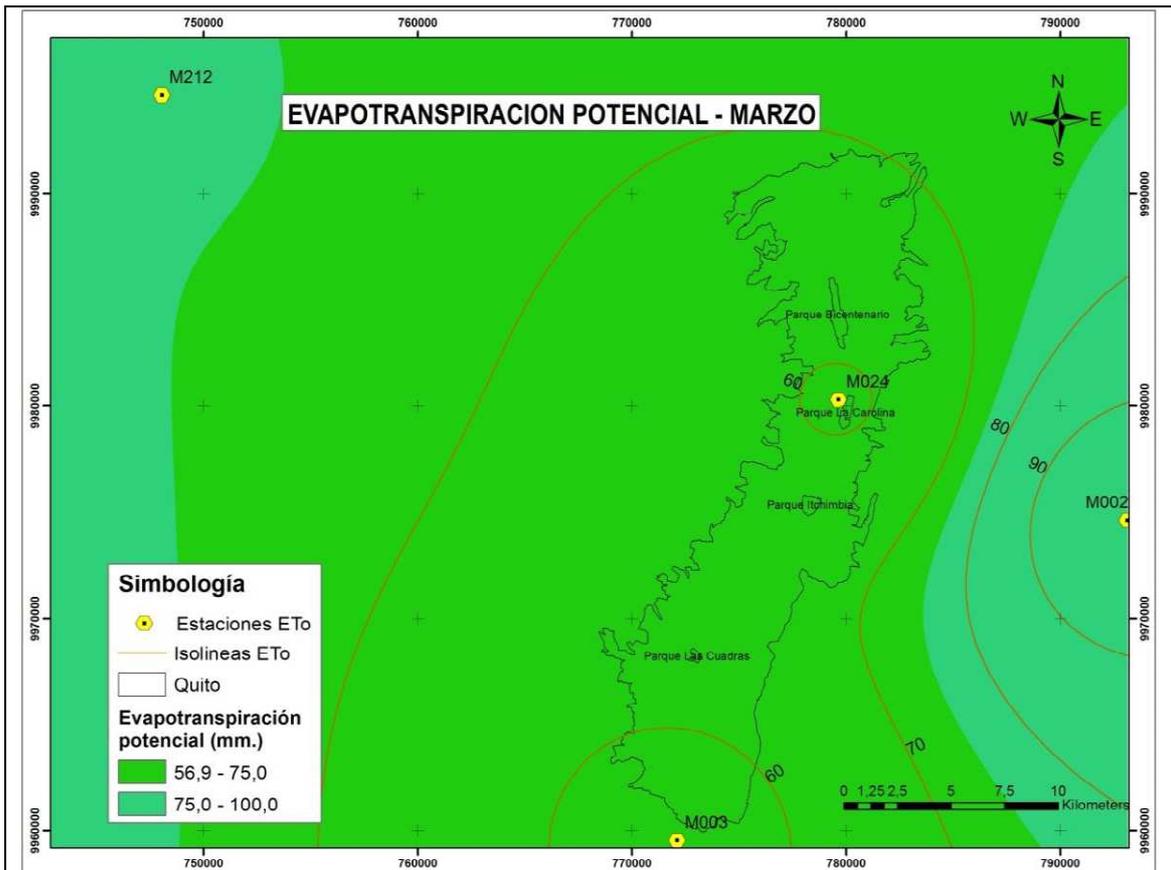


Figura 123. Evapotranspiración referencial para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.

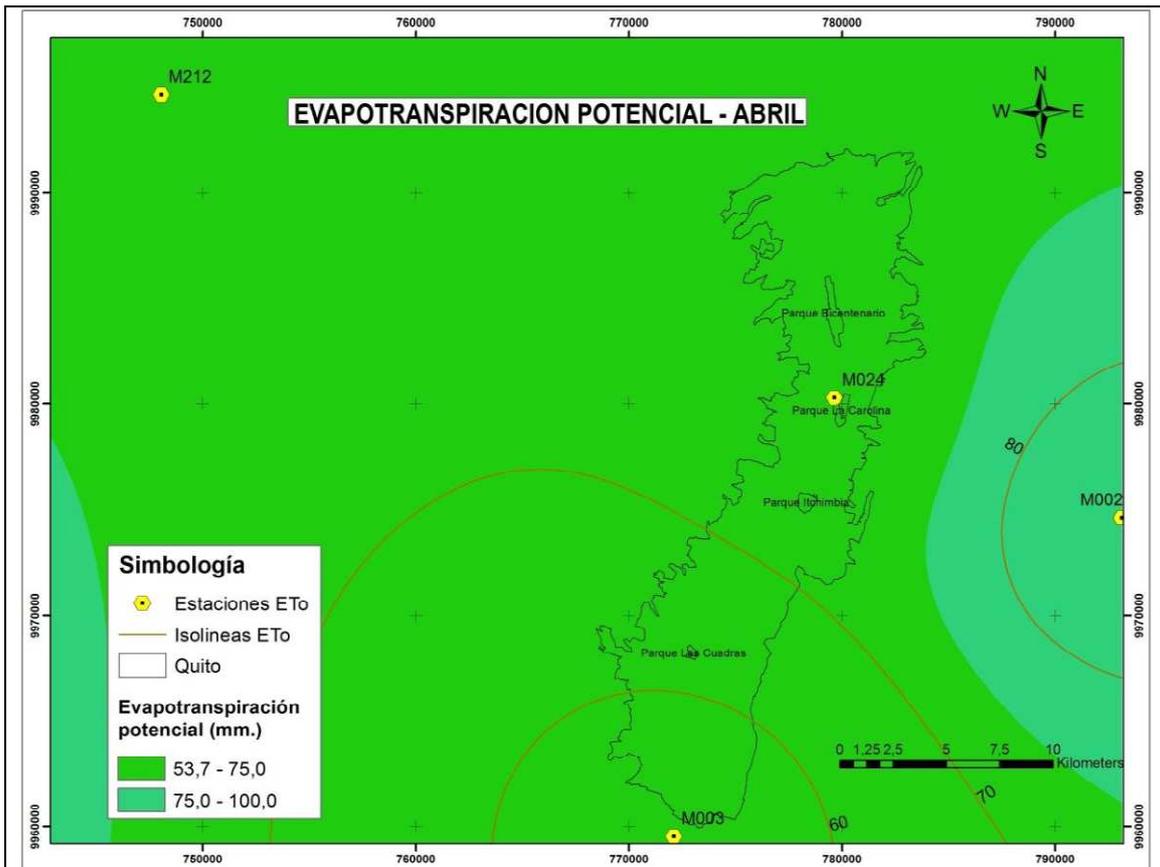


Figura 124. Evapotranspiración referencial para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.

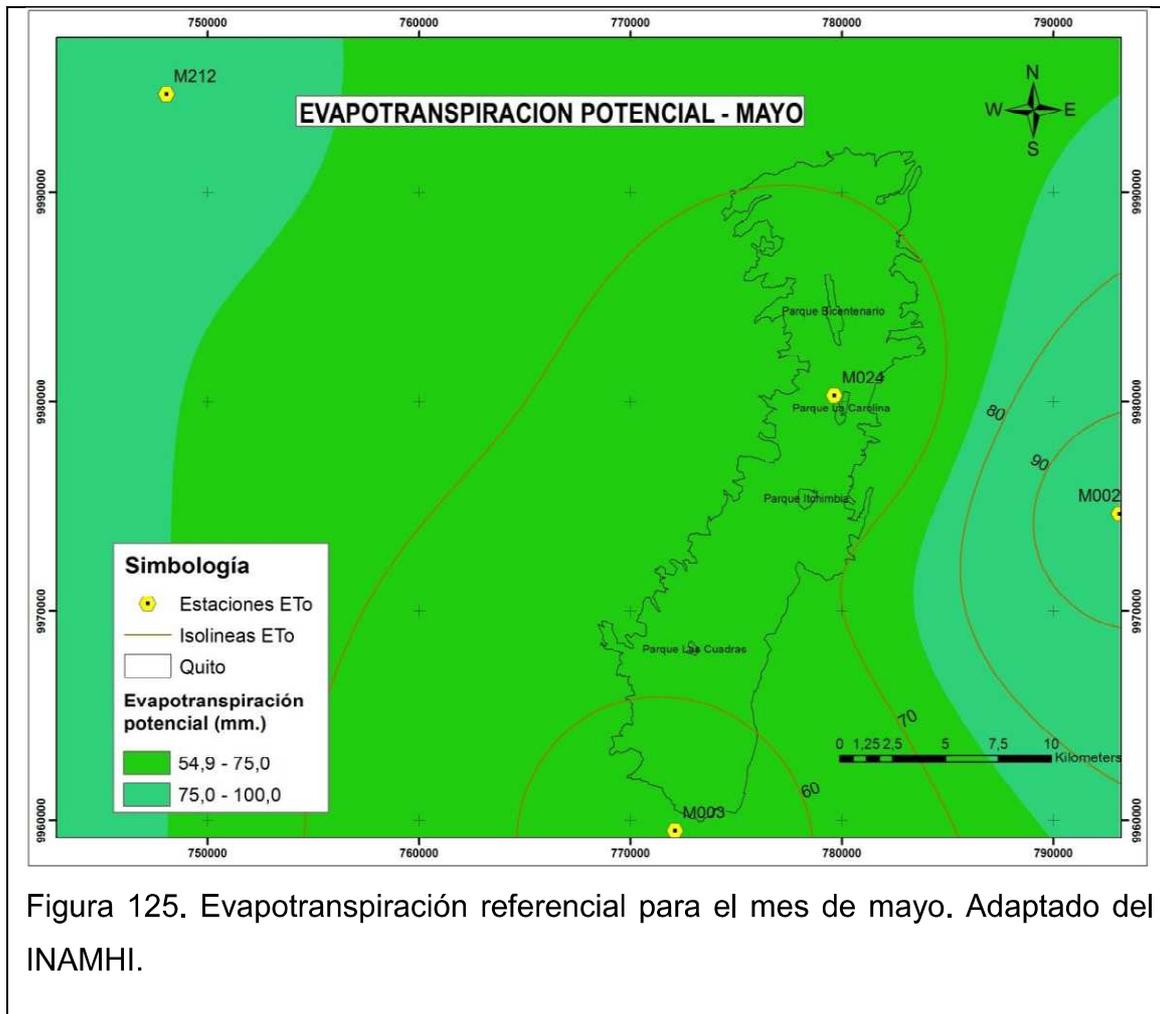
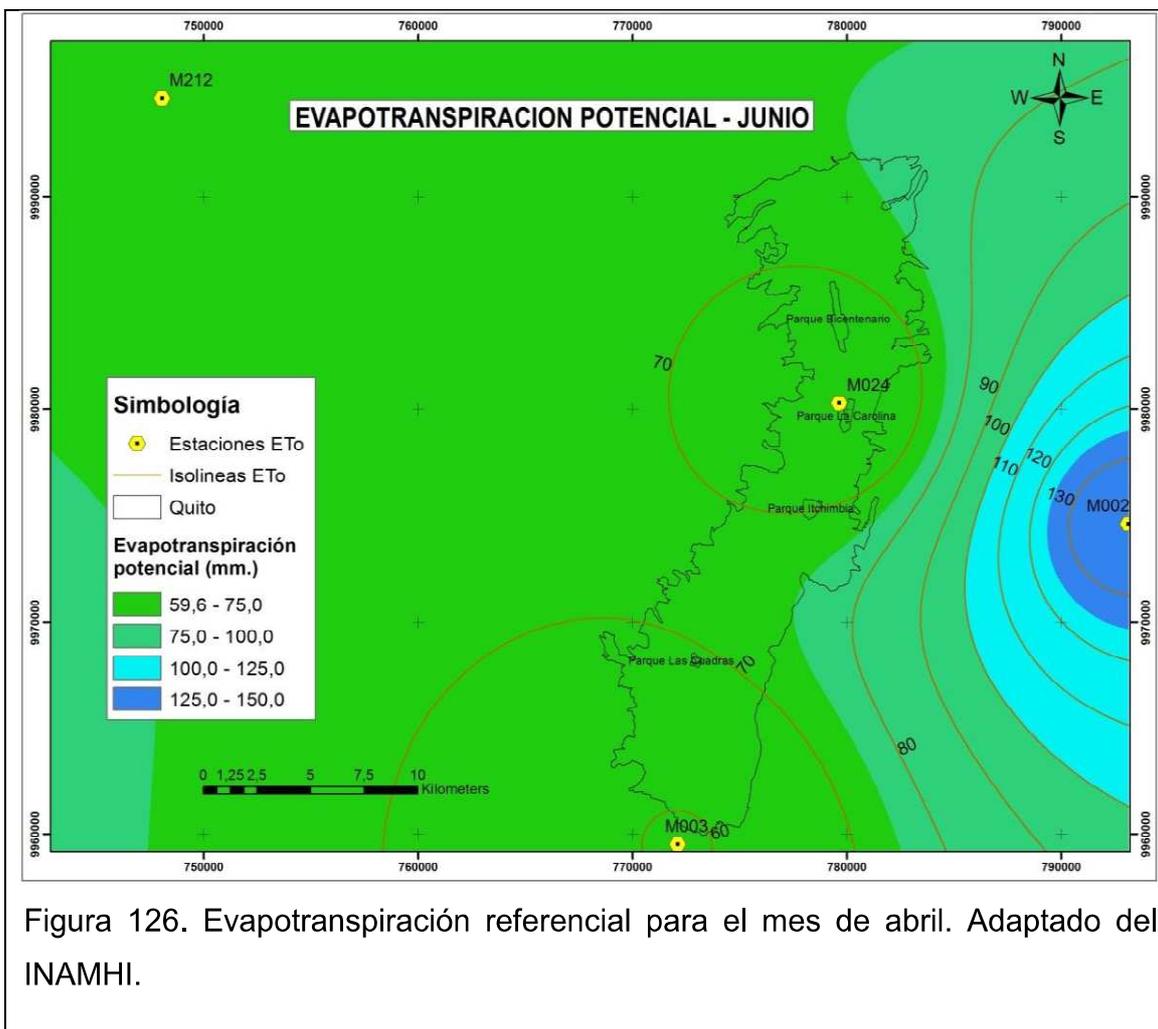


Figura 125. Evapotranspiración referencial para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.

Junio

En el inicio de la época seca, las condiciones no se modifican bruscamente dentro de la ciudad, sin embargo la zona oriental de la ciudad caracterizada por su aridez requiere mayor cantidad de agua (figura 127). Para la zona sur los requerimientos de agua inician desde los 60 mm., a medida que se avanza hacia el norte las condiciones requieren 70 mm y en el extremo norte hasta 75 mm.

Rango: 60 - 75 mm.



Julio

Las precipitaciones en este mes son escasas, la nubosidad es baja, el viento aumenta su velocidad y las temperaturas máximas también. Los requerimientos desde la zona sur aumentan desde 70 mm hasta los 90 mm de la zona centro - sur, en la zona central de la ciudad hasta la zona centro - norte descende el requerimiento aproximadamente hasta los 65 mm. En la zona norte el comportamiento es similar a la zona centro - sur (figura 128).

Rango: 66.9 - 90 mm.

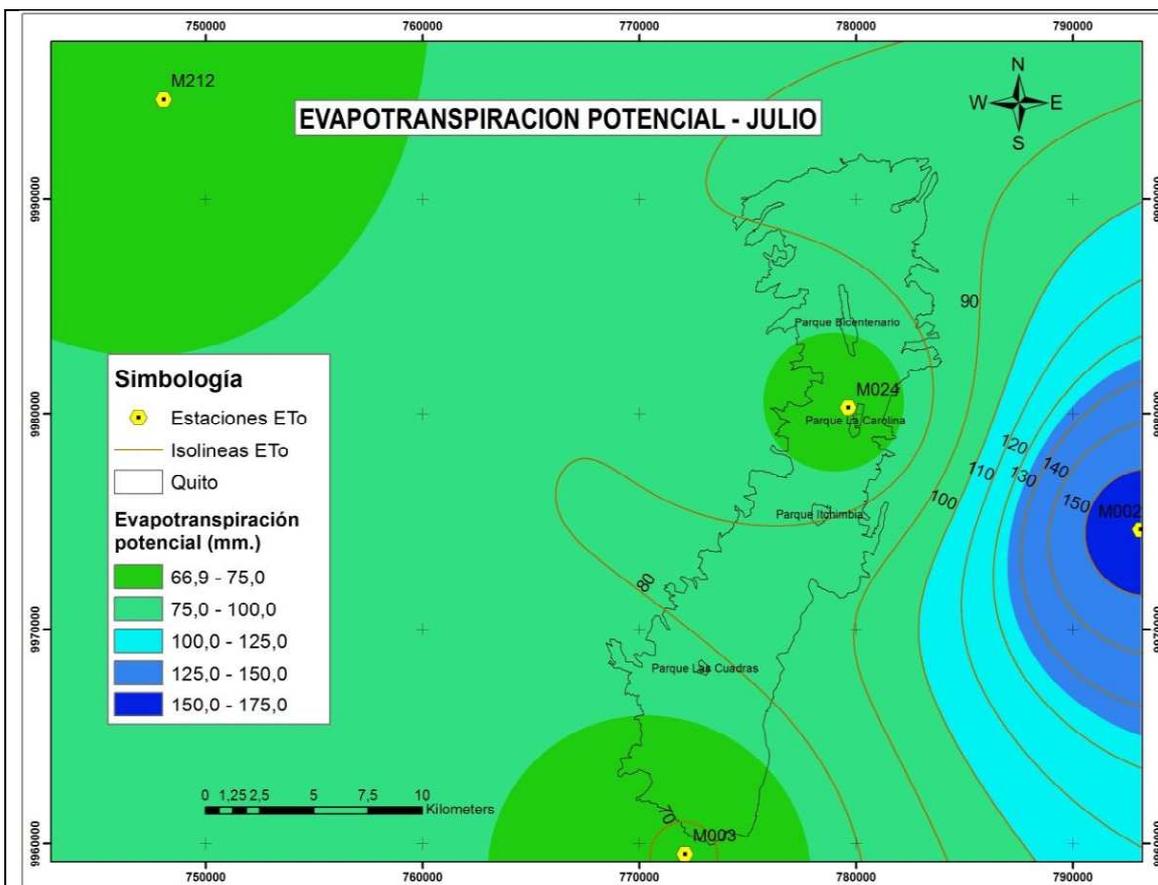
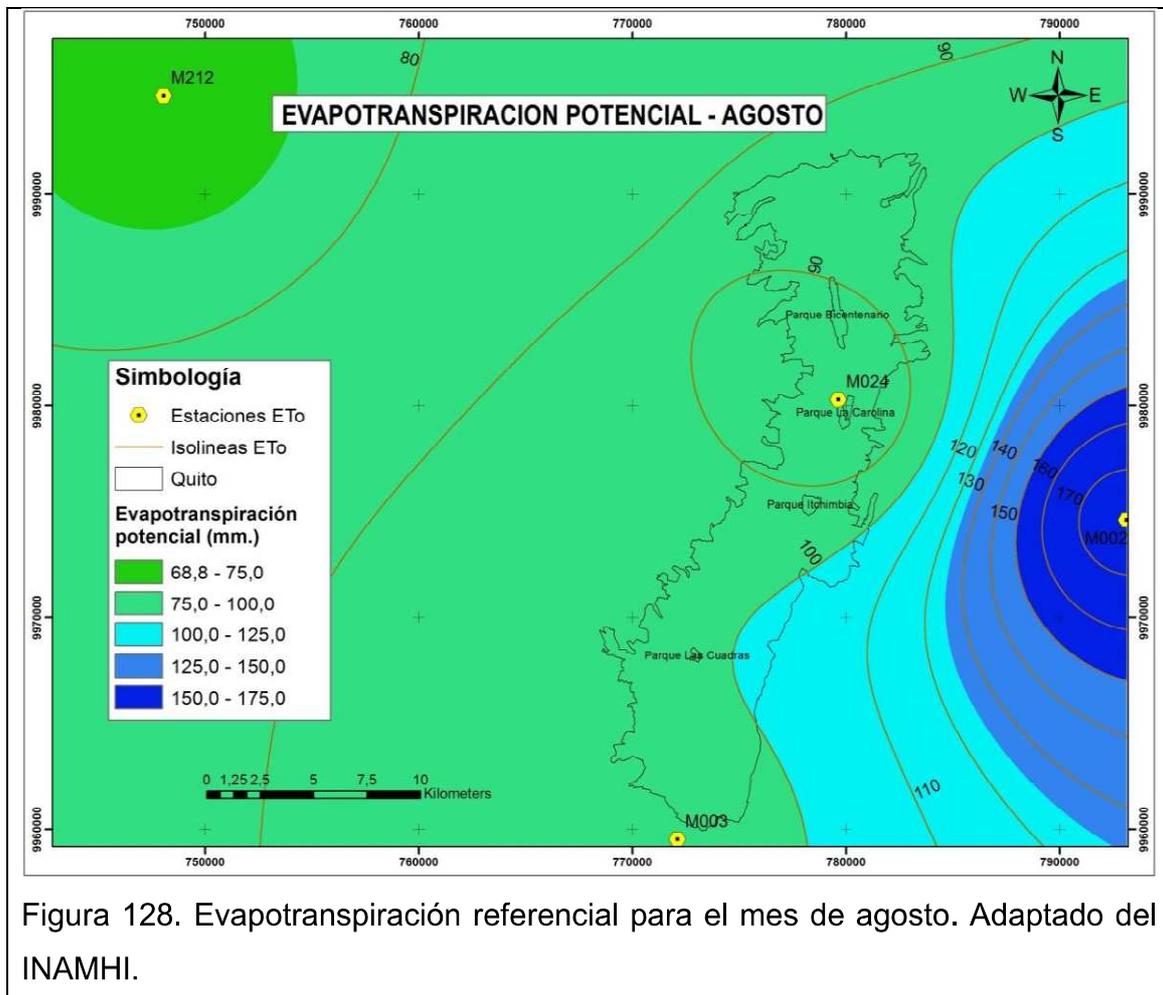


Figura 127. Evapotranspiración referencial para el mes de abril. Adaptado del INAMHI.

Agosto

En plena cúspide de la época seca los requerimientos de agua han aumentado para toda la ciudad, de manera constante y homogénea para cada una de las zonas, especialmente de la zona oriental y nororiental del DMQ.

Rango: 90 - 100 mm.



Septiembre

Las condiciones presentadas en la época seca cambian a medida que empieza el desarrollo de la época lluviosa. El patrón de comportamiento de la ETo es constante especialmente en la zona occidental de la ciudad, en la zona oriental se requiere sobre los 90 mm.

Rango: 80 - 90 mm.

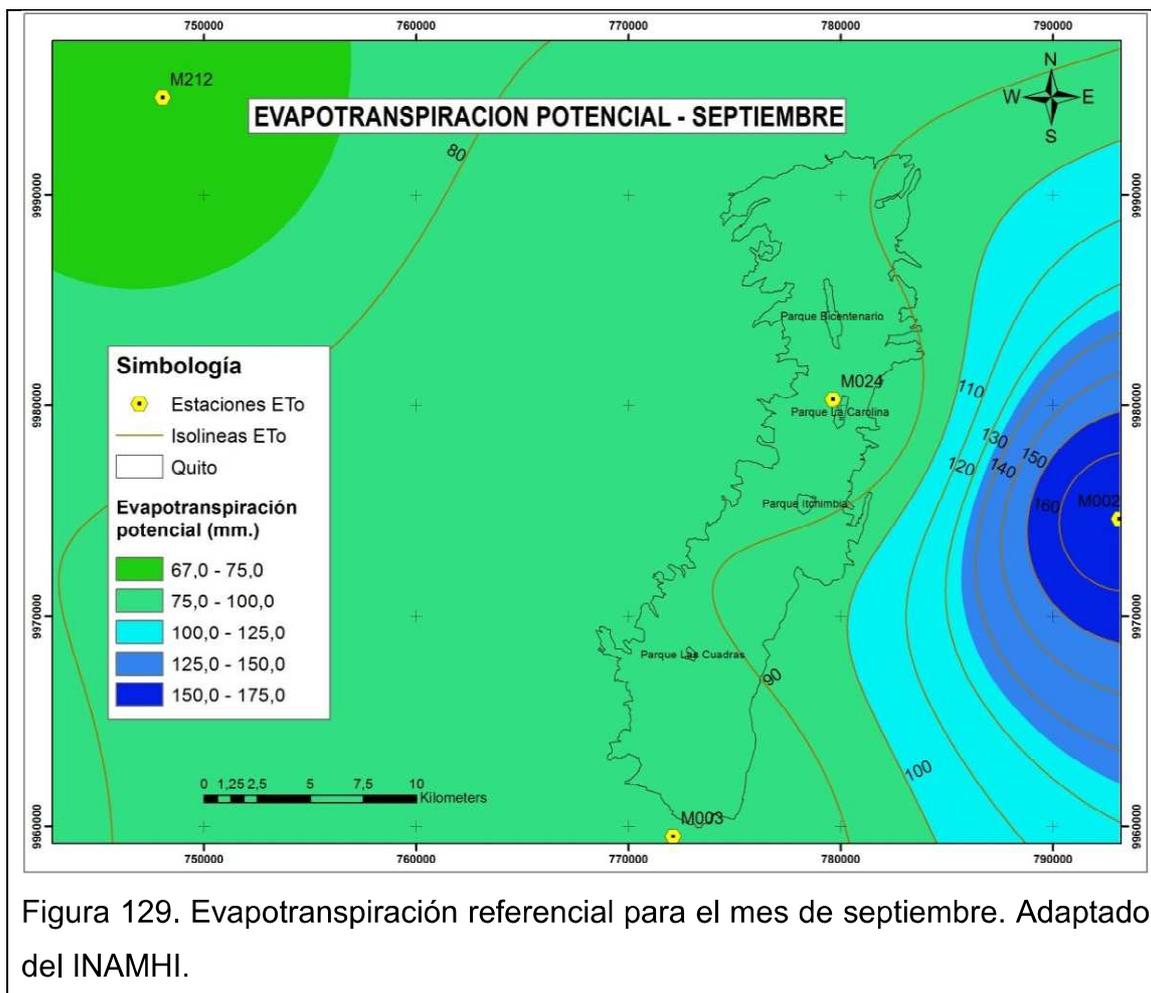


Figura 129. Evapotranspiración referencial para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.

Octubre, noviembre y diciembre

Se agruparon estos meses (figuras 131, 132 y 133) debido a que su comportamiento es similar en muchas zonas, especialmente al sur y también en aquellas zonas ubicadas en el oriente de la ciudad. Sus requerimientos no sobrepasan los 80 mm.

Rango: 50 - 80 mm.

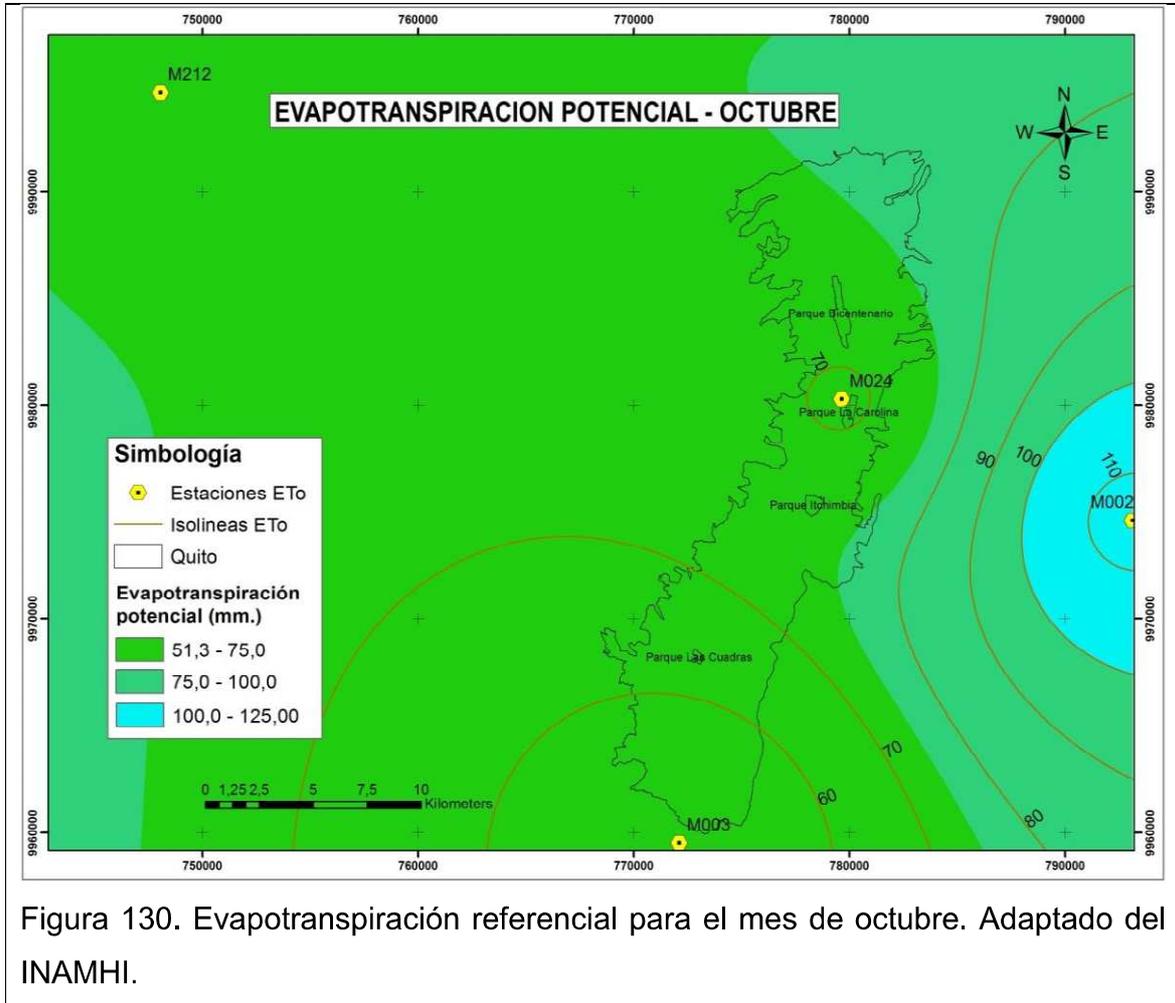
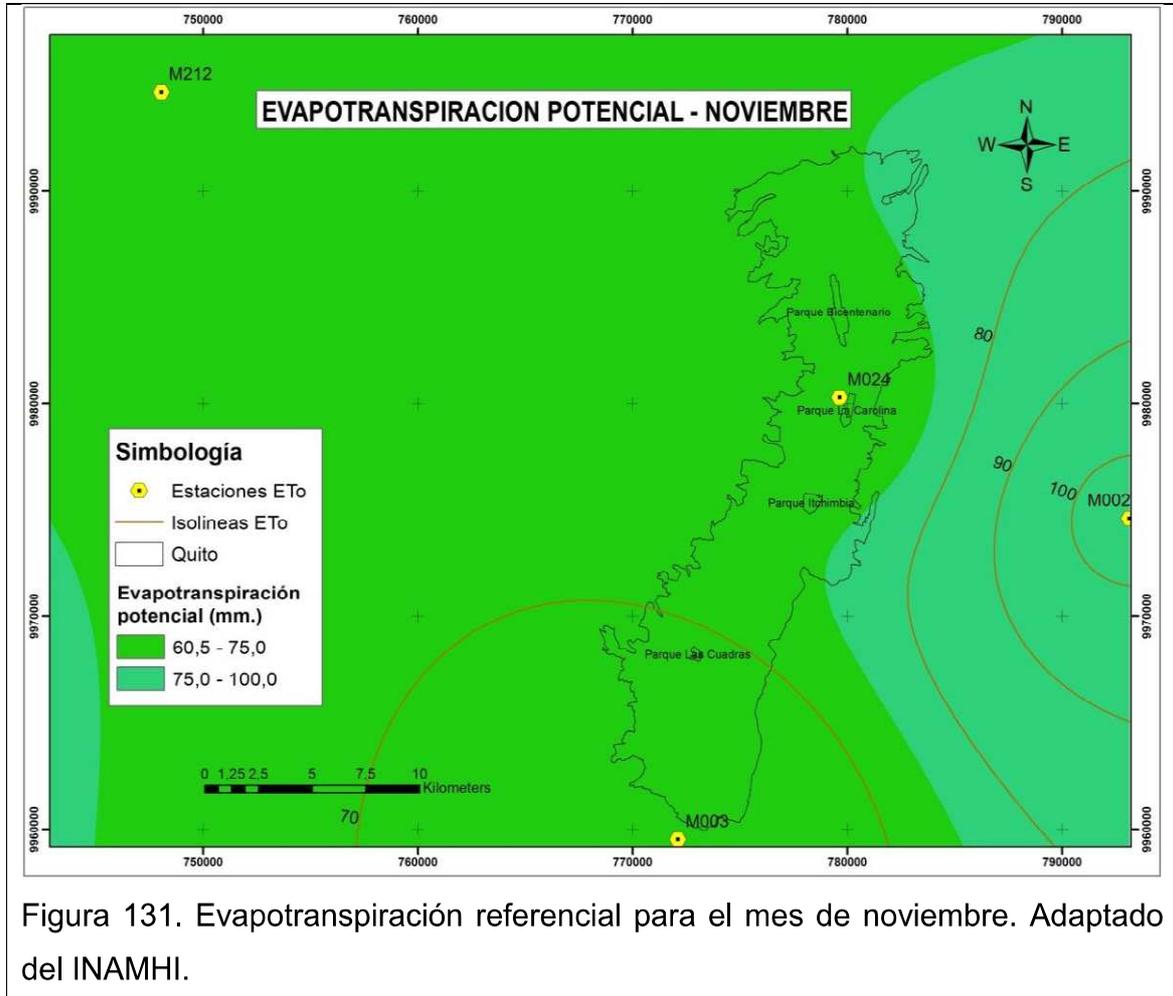
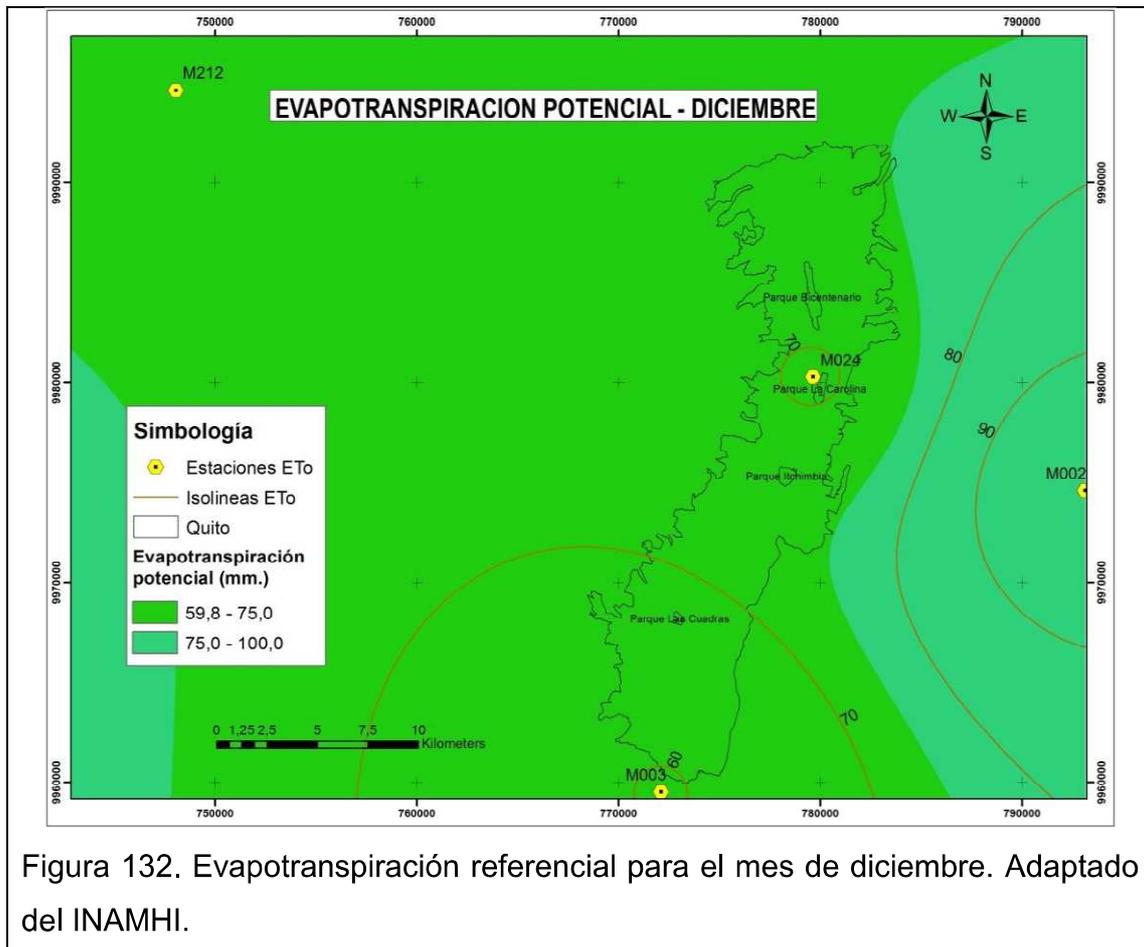


Figura 130. Evapotranspiración referencial para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI.





2.4. Cantidad de agua - Balance hídrico.

Determinar el balance hídrico permite identificar las necesidades hídricas de una región y cómo se comporta a lo largo del año. Además permite estimar volúmenes de agua que se requerirá en los cultivos en las épocas secas y también determinar el volumen de agua que podemos almacenar en la época lluviosa.

Para la elaboración de los mapas se utilizó la metodología de interpolación de las medias móviles (Inverse Distance Weighting, IDW en sus siglas en inglés), que se encuentra disponible de la herramienta SIG, ArcGIS.

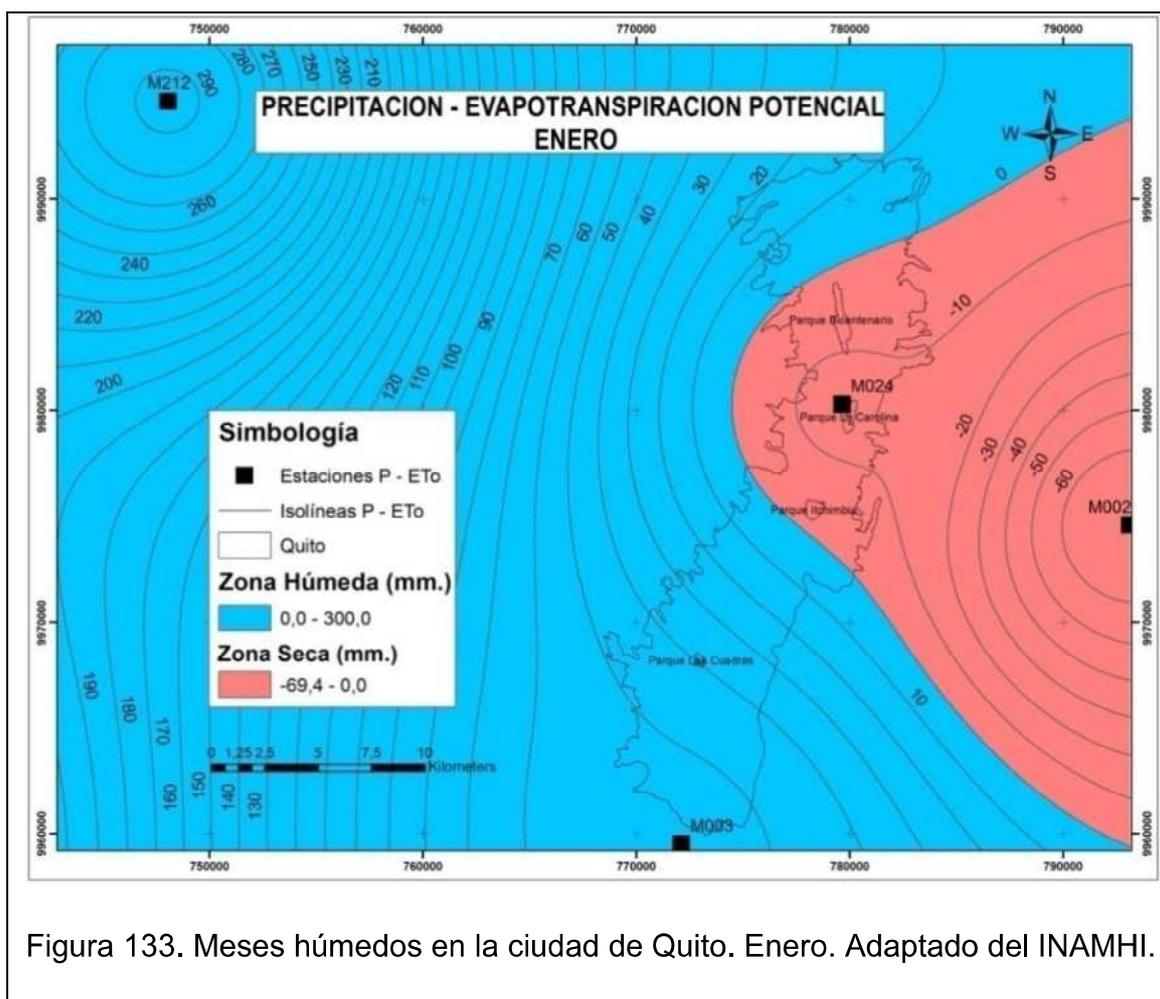
2.4.1. Meses secos y húmedos

Mediante la diferencia de la precipitación y de los requerimientos de ETo dependiendo de la zona se puede conocer cuáles son aquellos lugares en los cuales es obligatorio el uso de agua, ya sea a través de la tubería pública o mediante el almacenamiento procedente de la época lluviosa.

2.4.1.1. Meses húmedos

Es un análisis bastante sencillo, donde existe déficit se presenta el color rojo y donde las condiciones son equilibradas o excedentes se denota mediante el color azul.

El mes de enero destaca en cierta manera ya que los requerimientos de agua extra se estiman para la zona centro - norte. Para el resto de los meses únicamente los requerimientos provienen de las zonas periféricas oriental y nororiental.



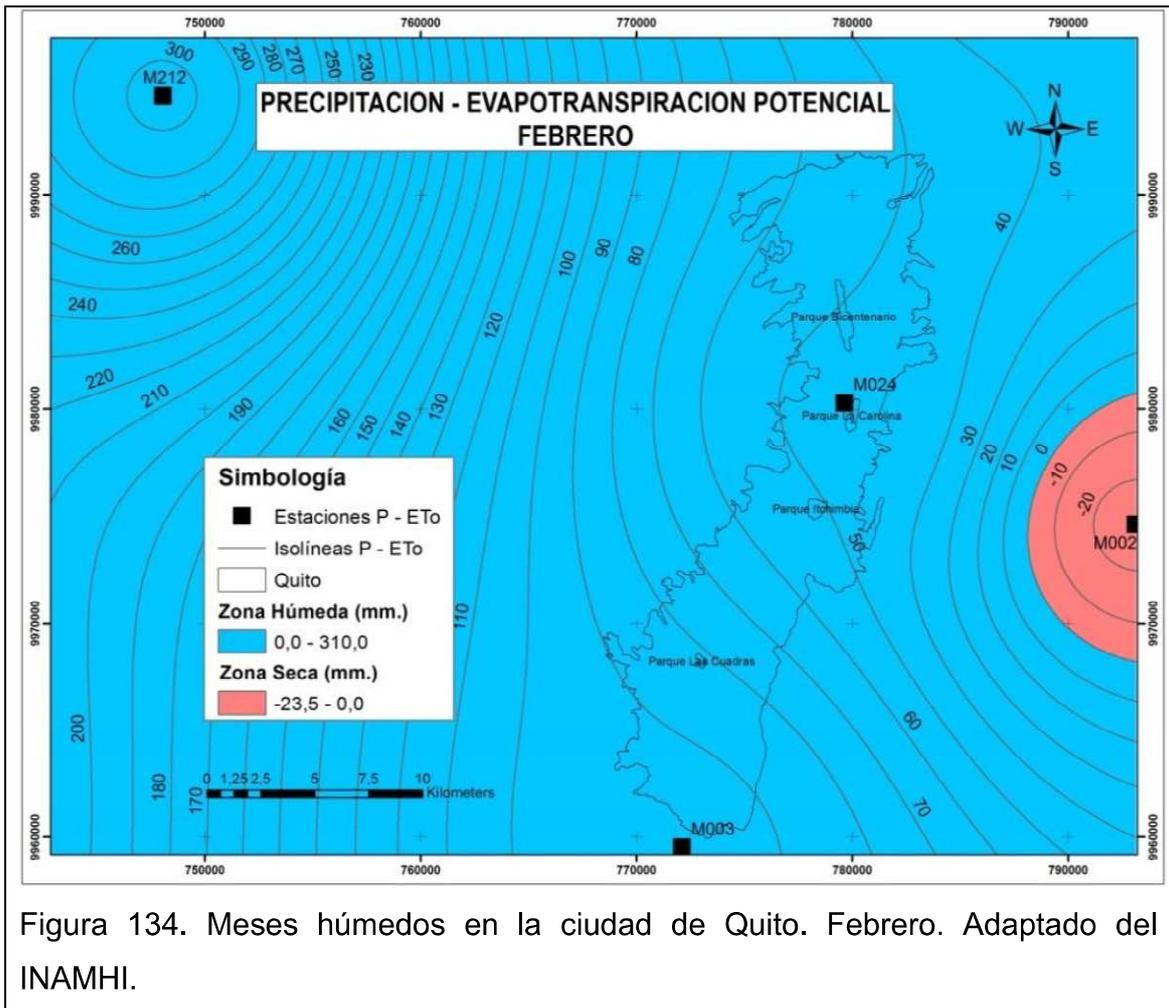


Figura 134. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Febrero. Adaptado del INAMHI.

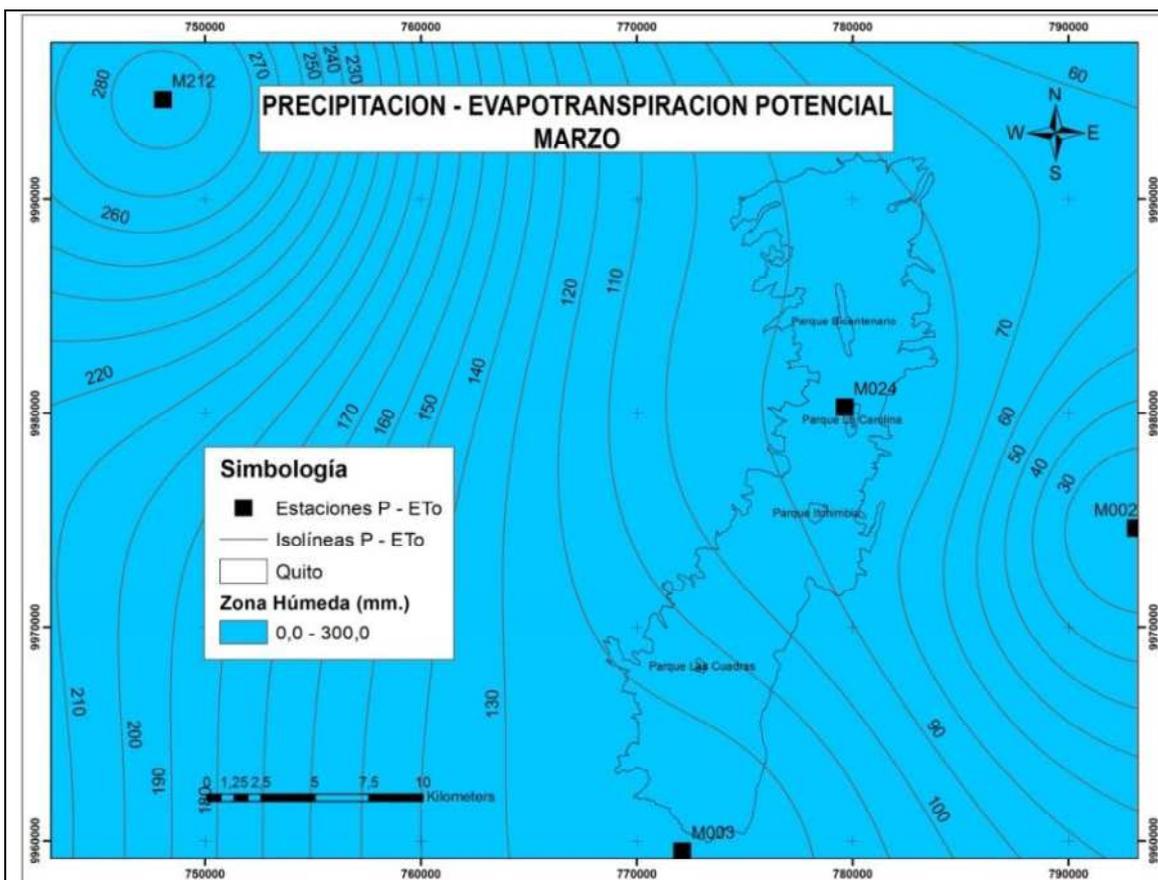


Figura 135. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Marzo. Adaptado del INAMHI.

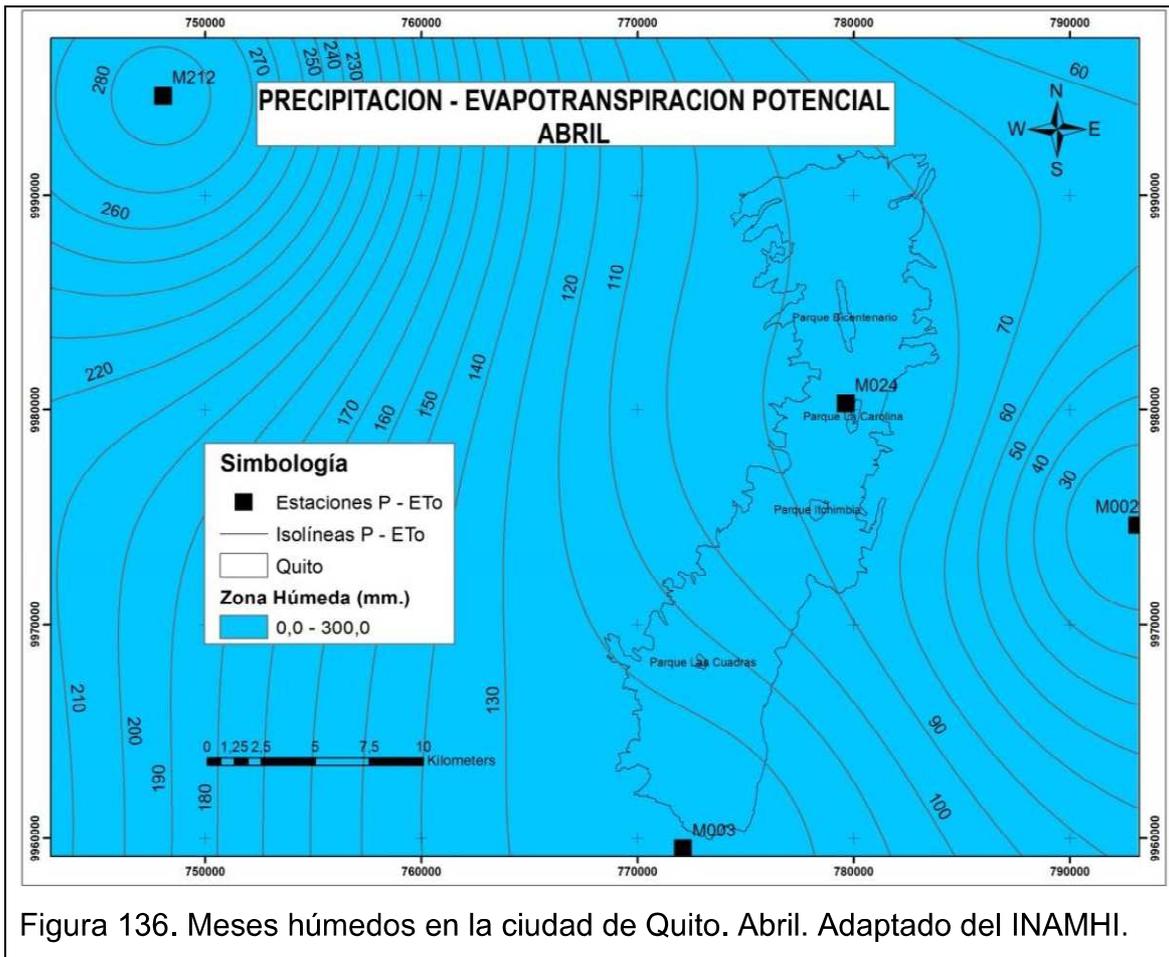


Figura 136. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Abril. Adaptado del INAMHI.

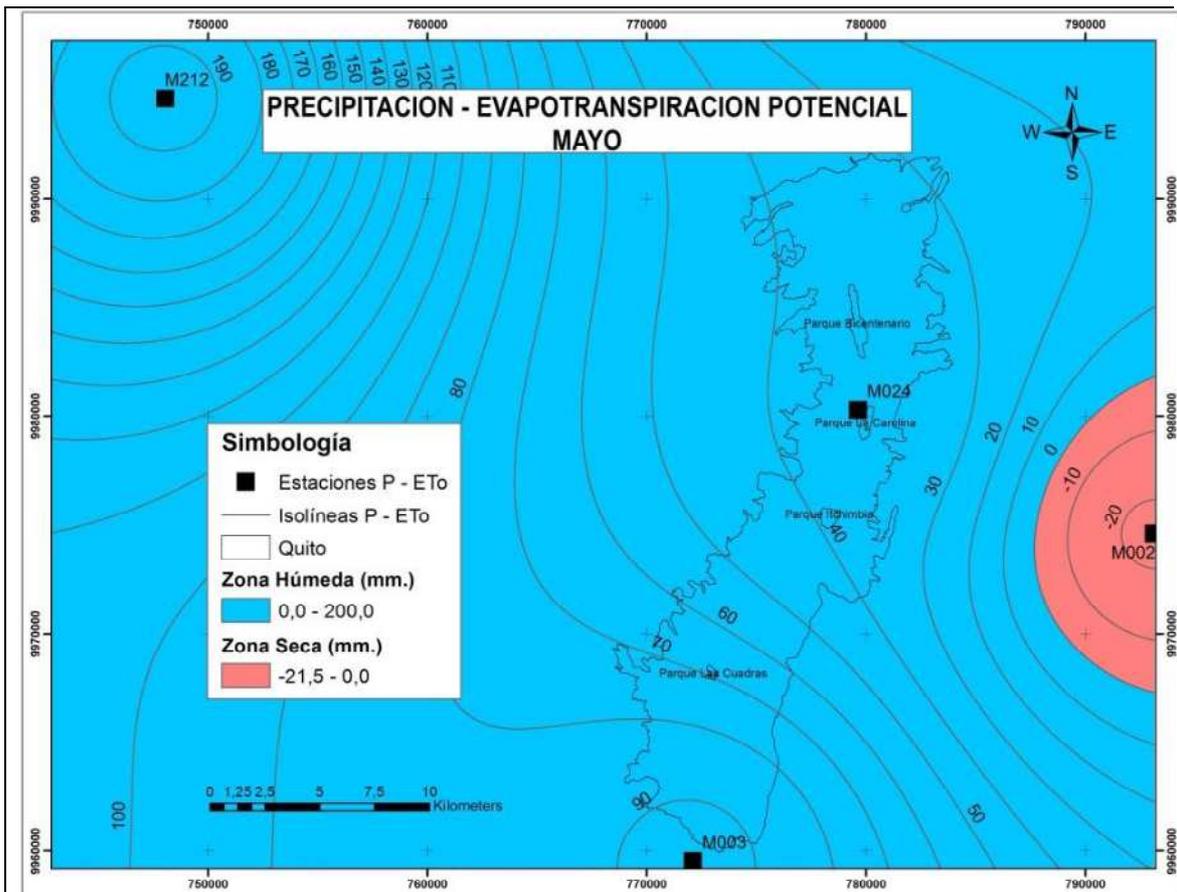


Figura 137. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Mayo. Adaptado del INAMHI.

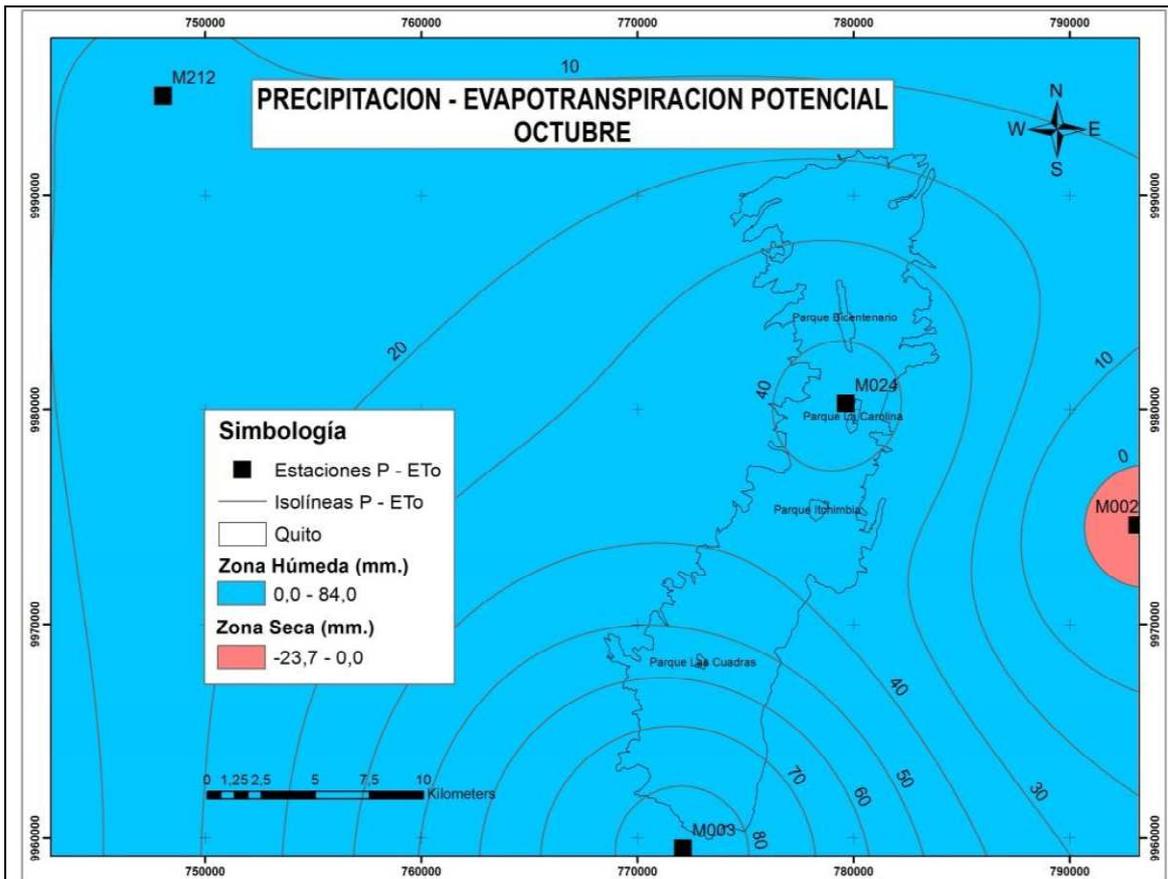


Figura 138. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Octubre. Adaptado del INAMHI.

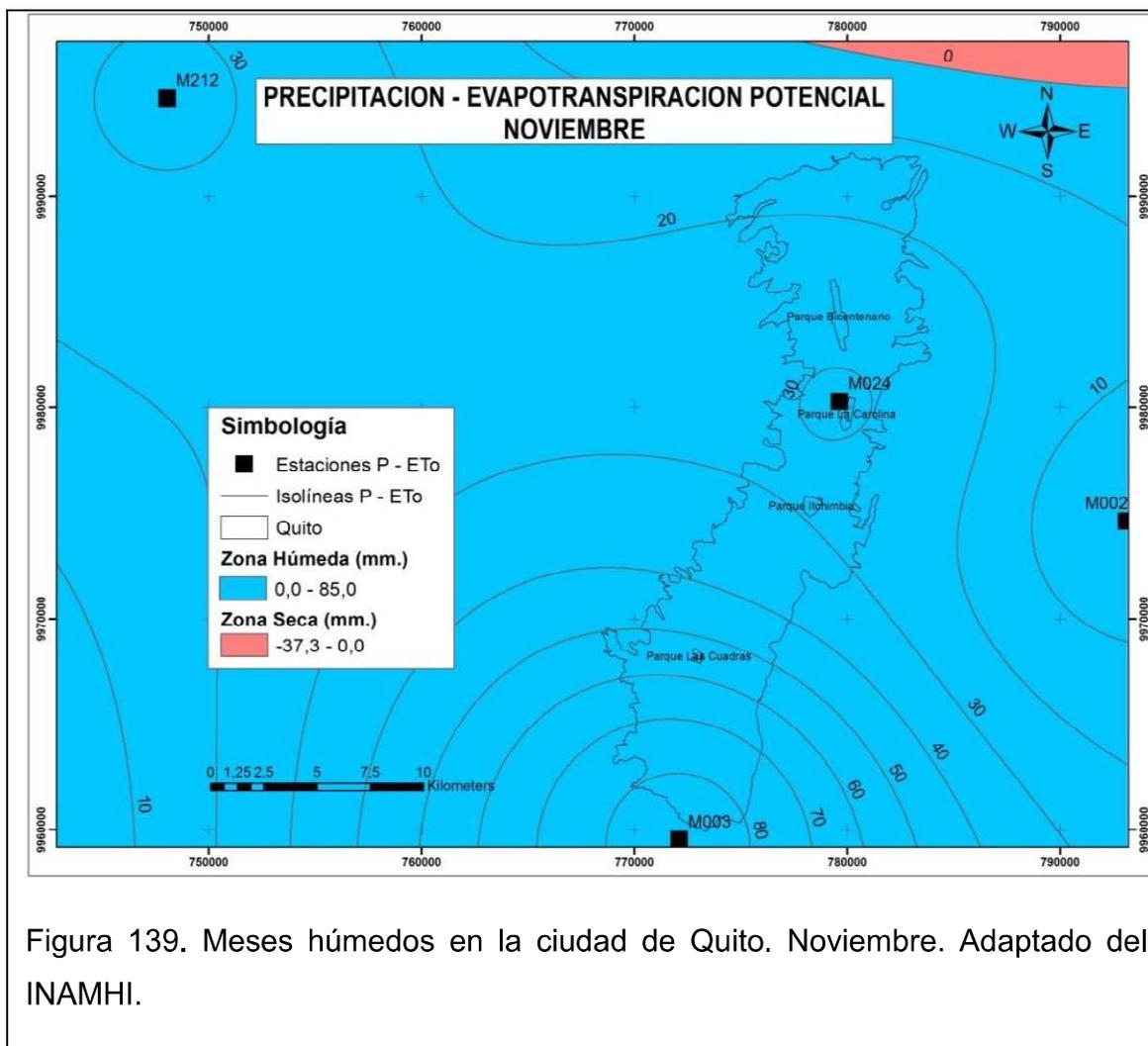


Figura 139. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Noviembre. Adaptado del INAMHI.

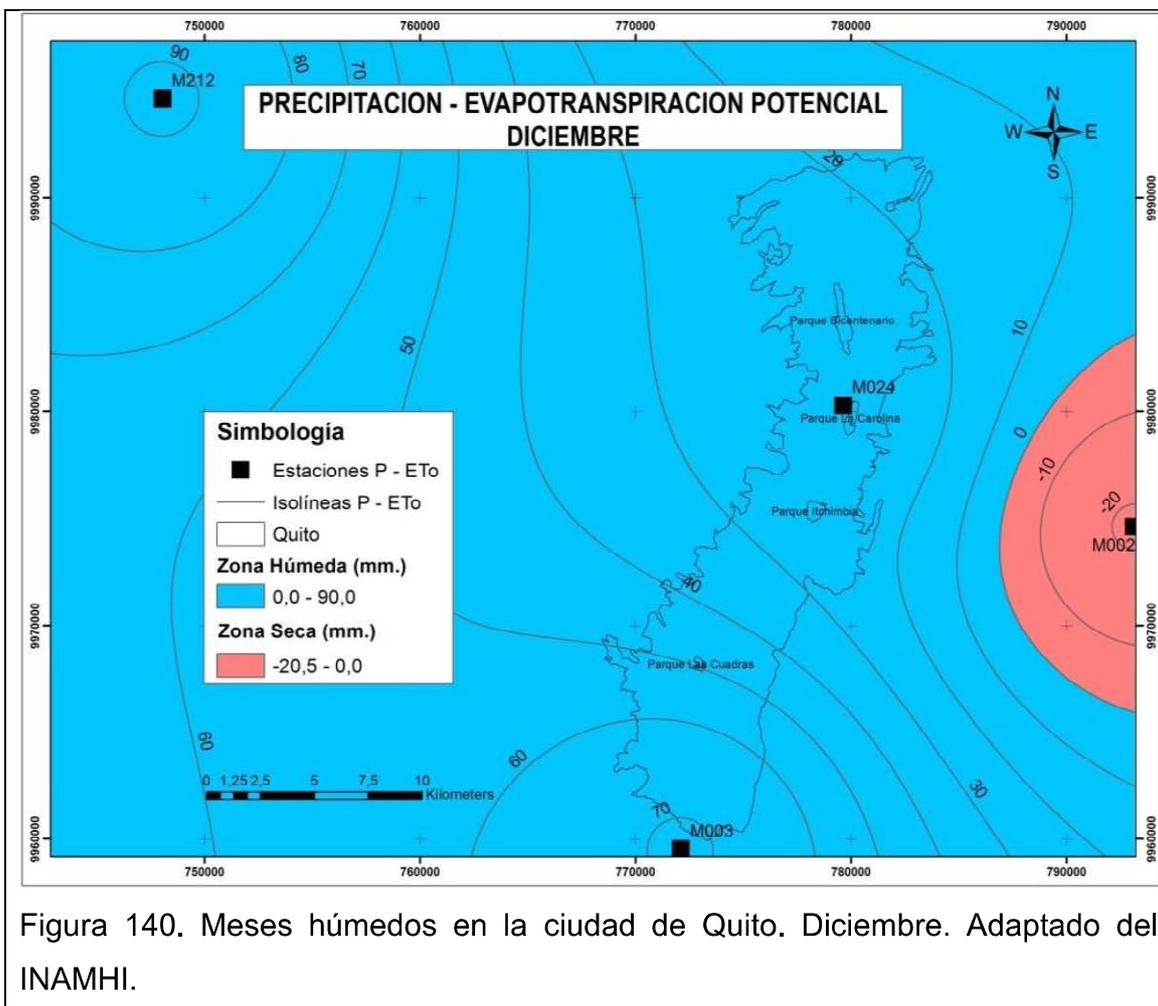


Figura 140. Meses húmedos en la ciudad de Quito. Diciembre. Adaptado del INAMHI.

2.4.1.2. Meses Secos

Son aquellos meses que presentan un déficit en cuanto a los requerimientos de agua, debido a que la precipitación no cubre todas sus necesidades. Estos meses corresponden a la época seca de la ciudad.

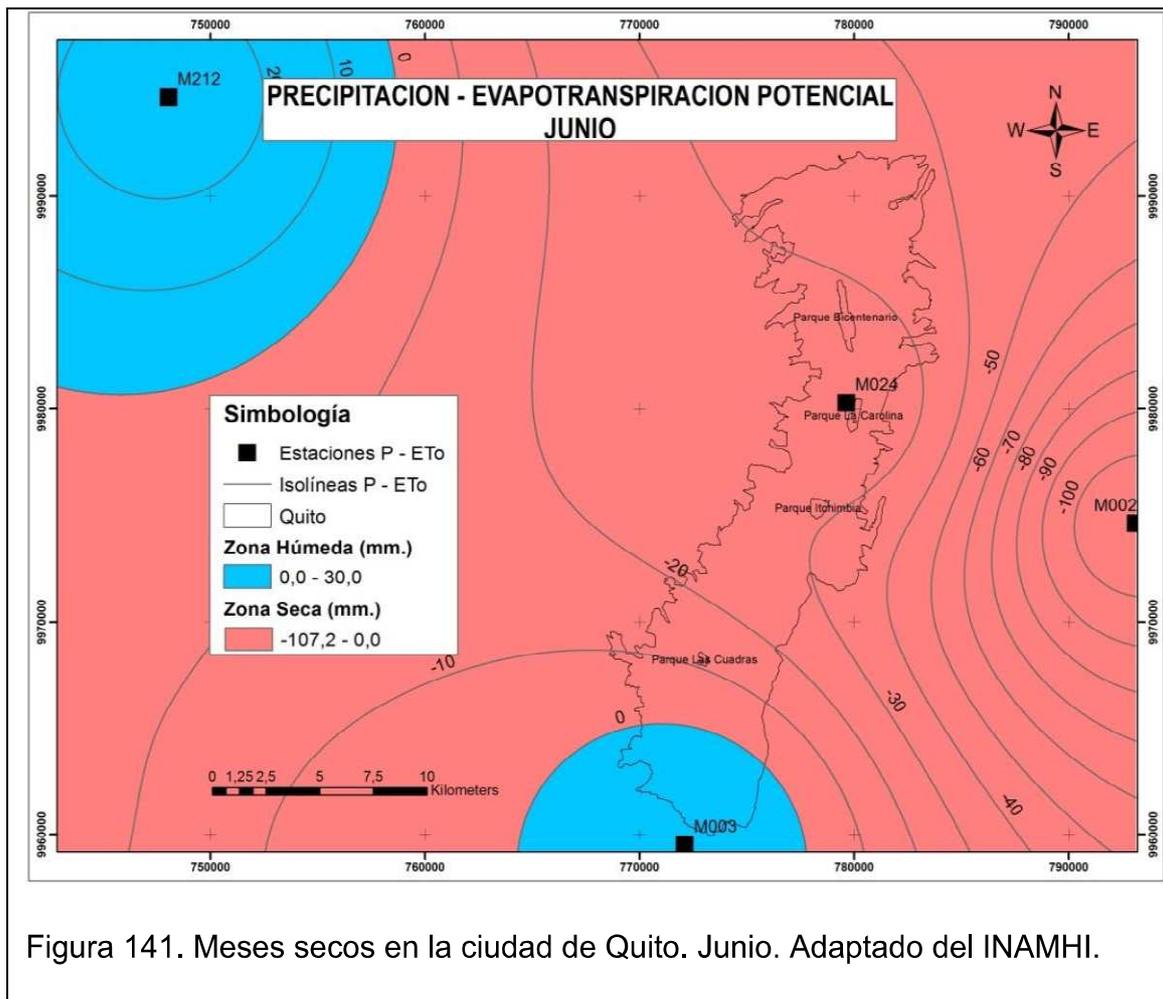


Figura 141. Meses secos en la ciudad de Quito. Junio. Adaptado del INAMHI.

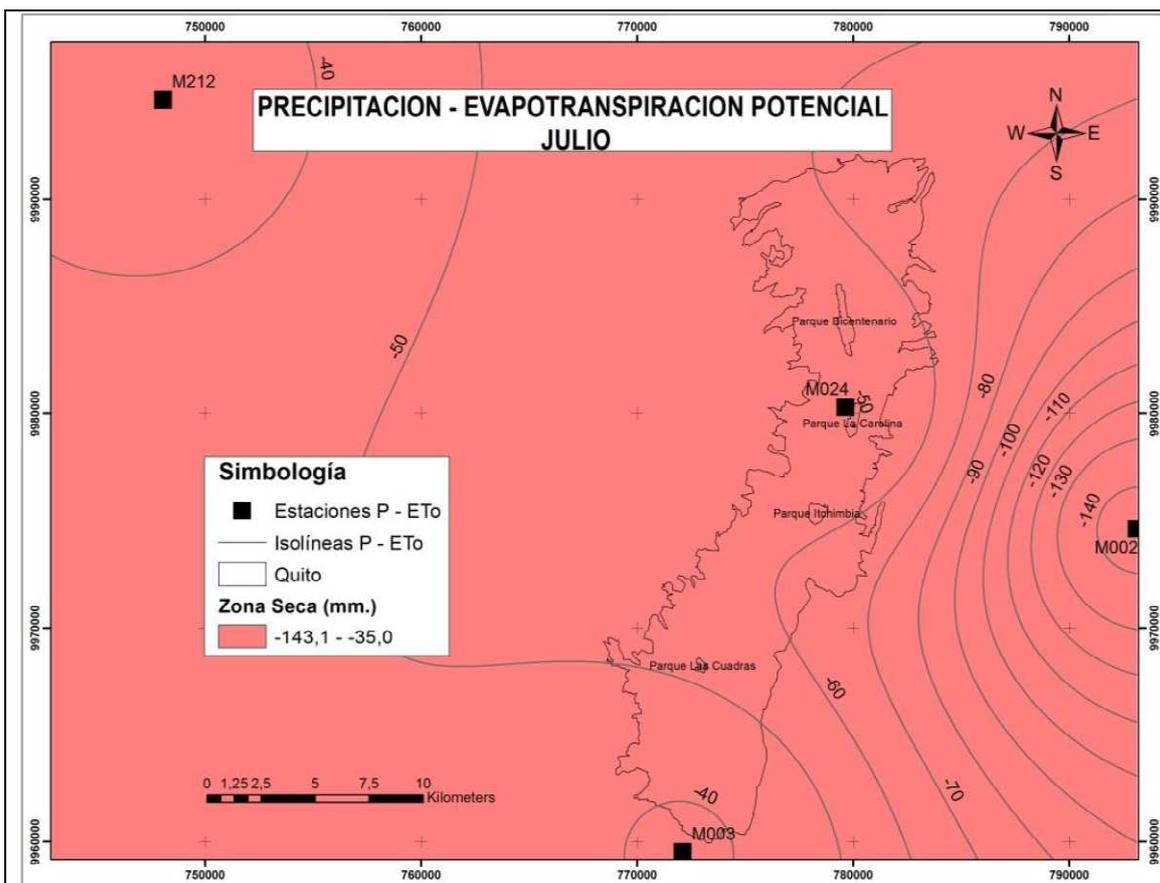
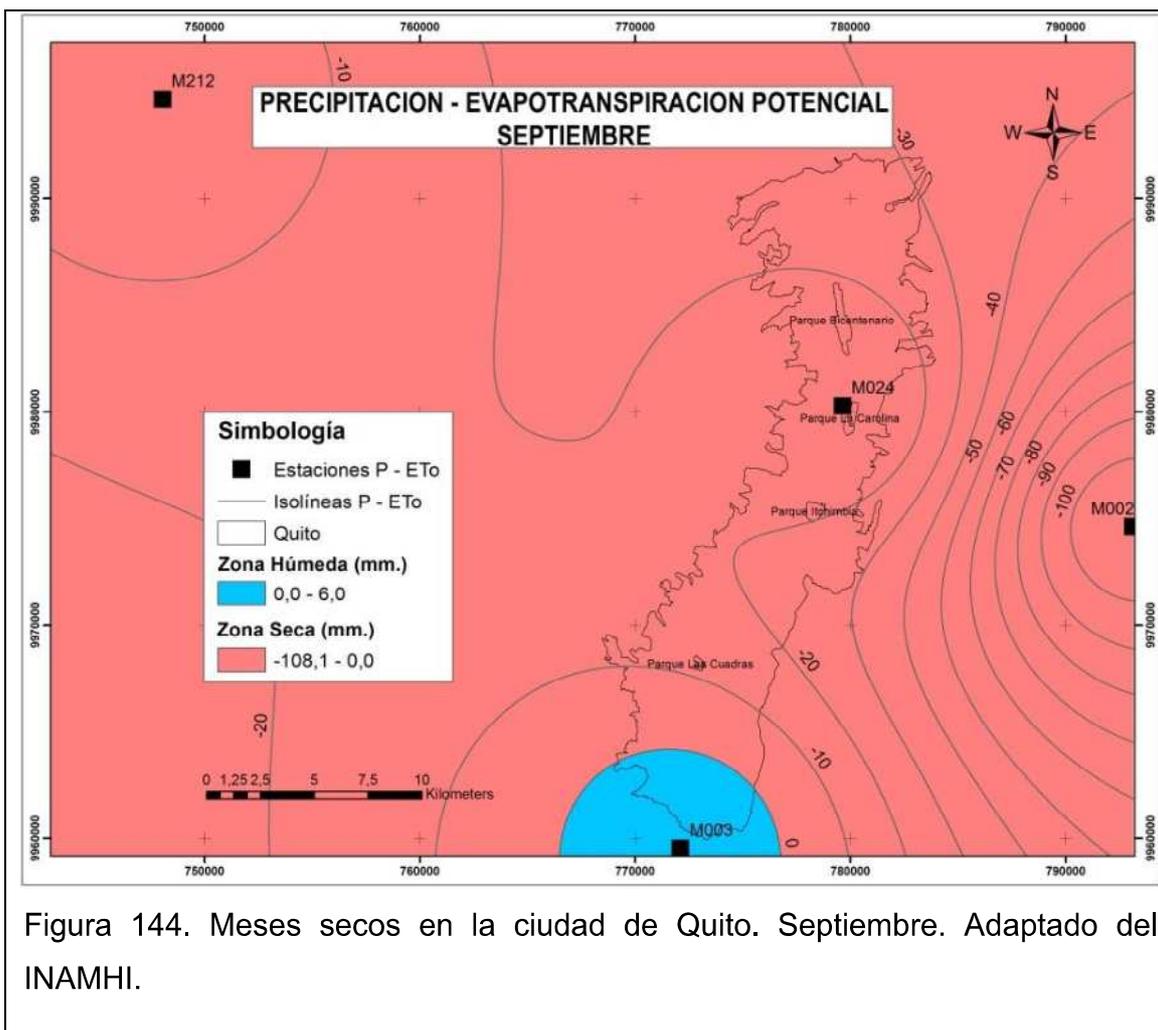


Figura 142. Meses secos en la ciudad de Quito. Julio. Adaptado del INAMHI.



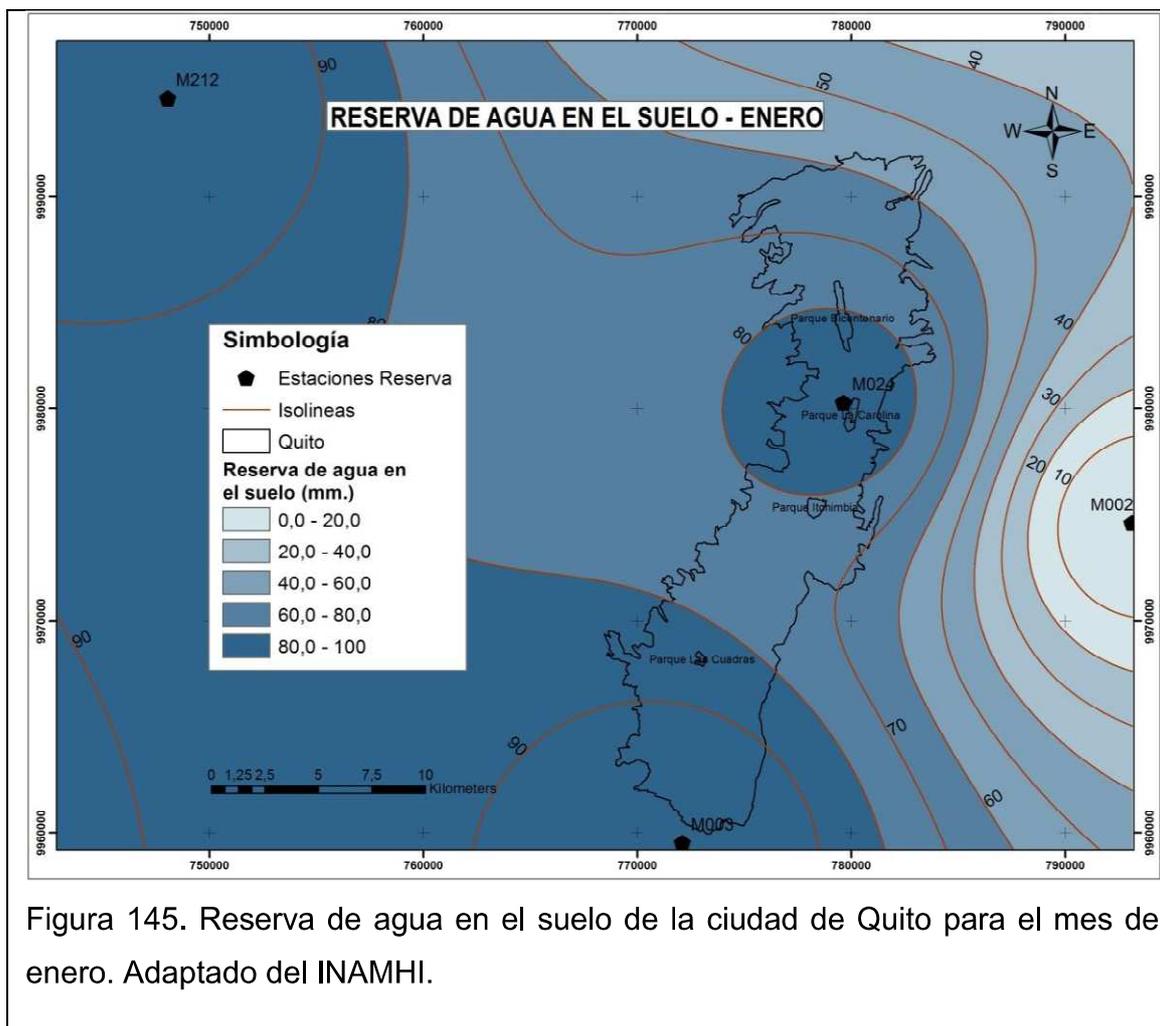
2.4.2. Reserva

La cantidad de agua sobrante que se almacena en el suelo es conocida como reserva ($R_{max} = 100 \text{ mm}$), estimar la cantidad de humedad promedio en el suelo permite determinar si las plantas en meses secos tienen acceso a reservas o si este está agotado.

Enero

Mantiene reserva máxima en la zona sur, hacia el norte decrece a 80 mm, en la zona centro - sur y centro su comportamiento varía entre 70 - 80 mm. En el centro - norte la reserva nuevamente aumenta hasta los 87 mm; en el norte decrece de 70 - 55 mm aproximadamente.

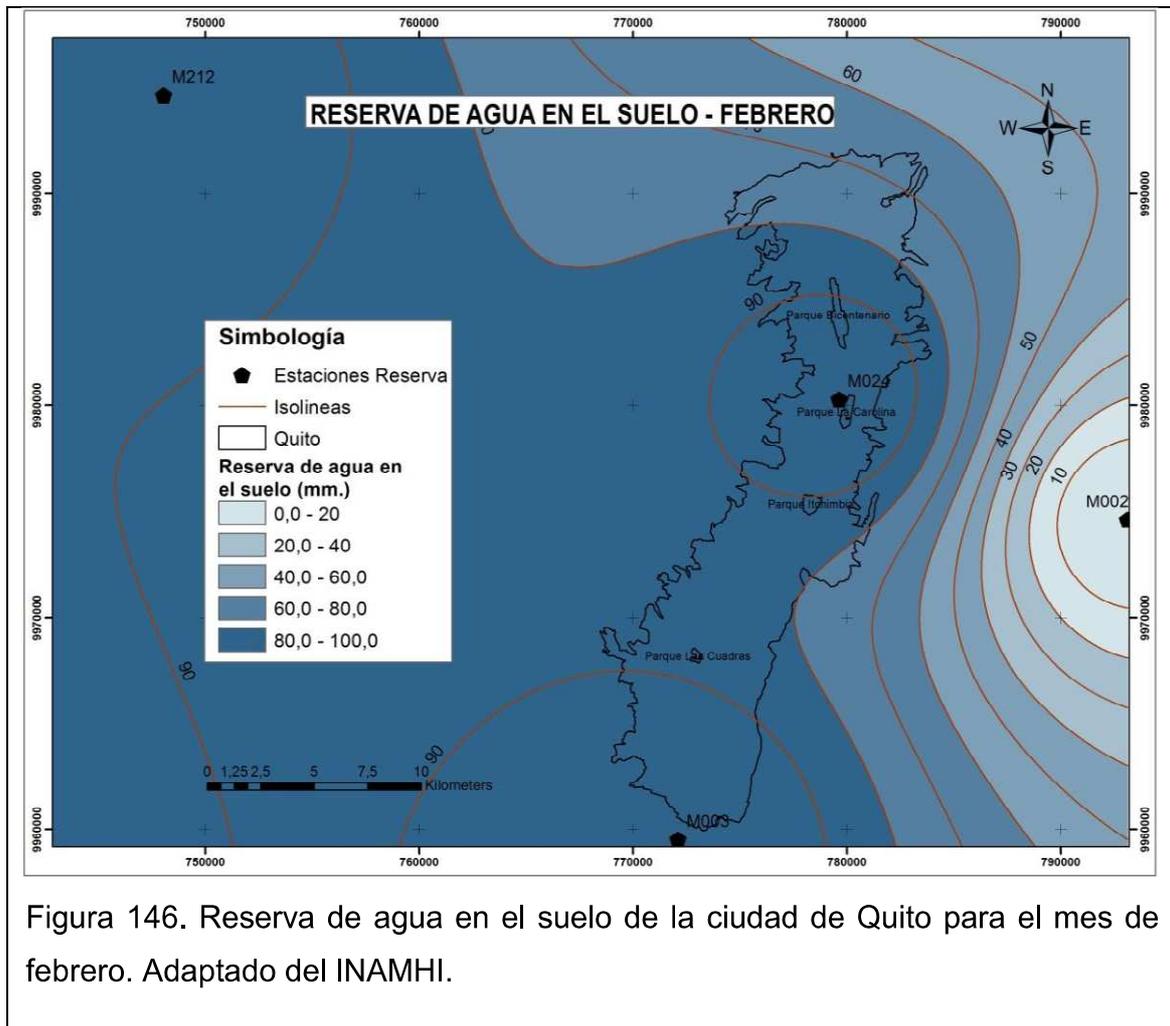
Rango: 55 - 100 mm.



Febrero

La reserva máxima se presenta en dos zonas de la ciudad en el sur y en el centro - norte de la ciudad, entre estas dos puede que los valores varíen dentro de los 90 mm. Para el norte la reserva desciende hasta los 65 mm.

Rango: 65 - 100 mm.



Marzo

La época lluviosa causa que las reservas del suelo dentro de la ciudad también se incrementen. Por lo cual para este mes la reserva máxima se mantiene desde el sur hasta la zona centro - norte (Parque Bicentenario), en el norte la reserva disminuye y alcanza hasta los 75 mm.

Rango: 75 - 100 mm.

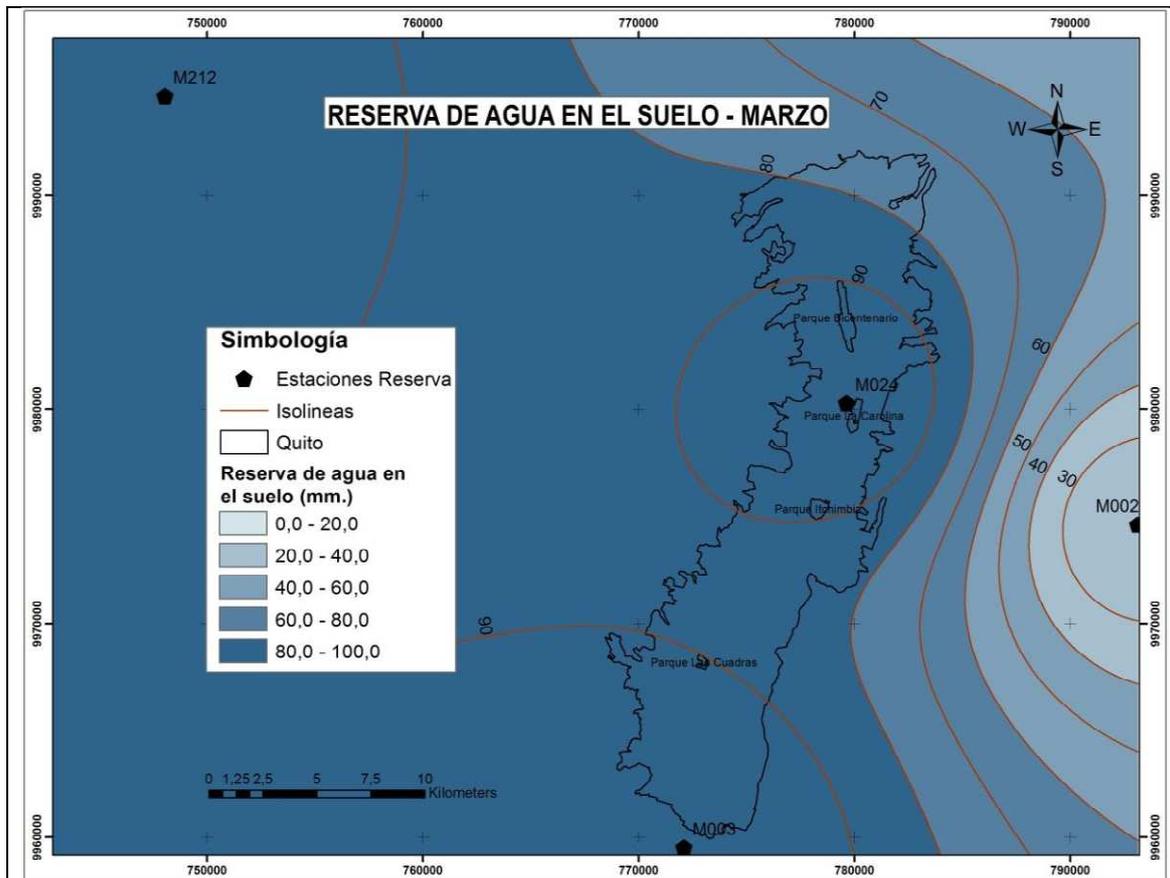
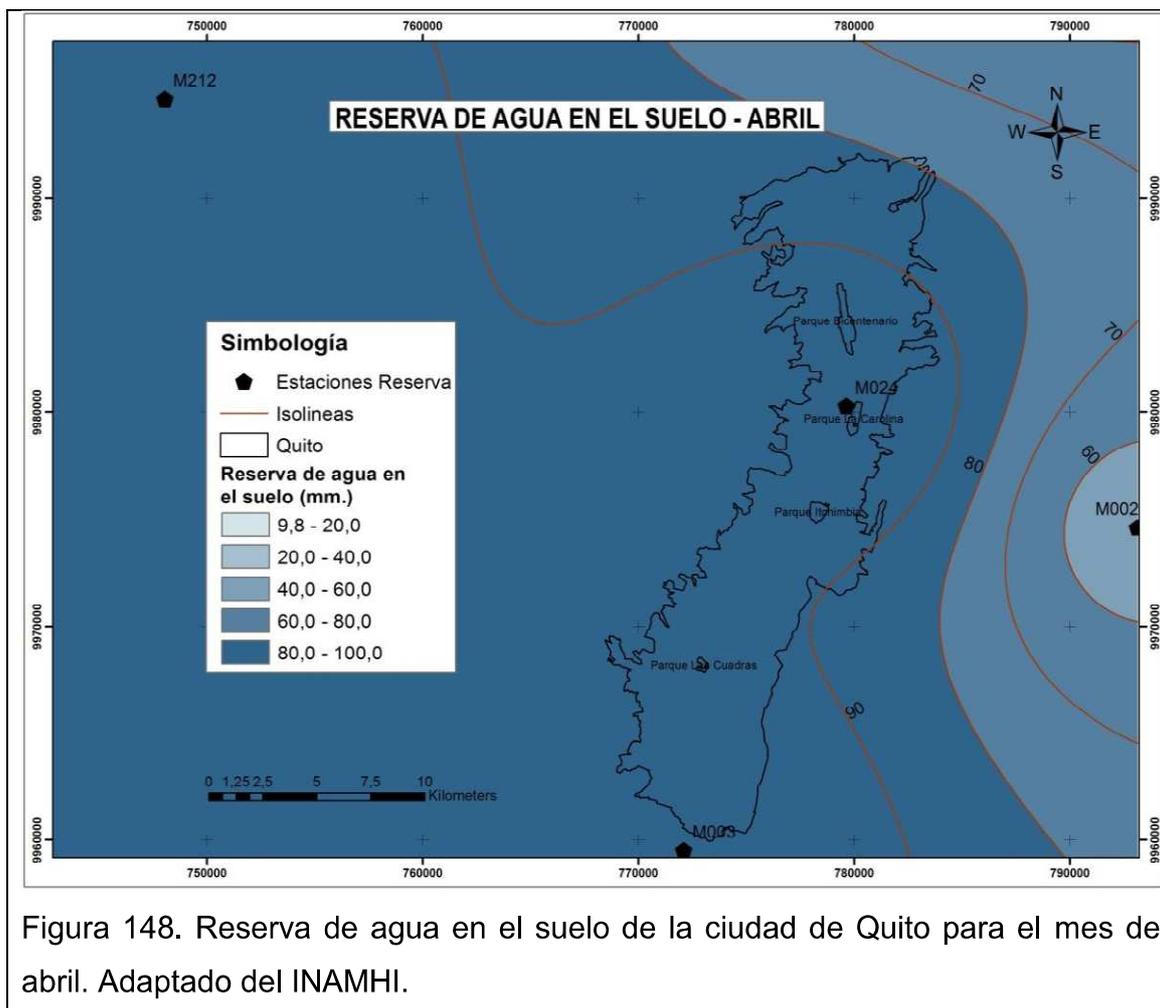


Figura 147. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de marzo. Adaptado del INAMHI.

Abril

En el mes más lluvioso de la época las reservas se incrementan y prácticamente todas alcanzan el nivel máximo. En la zona norte decrece hasta los 80 mm (figura 149).

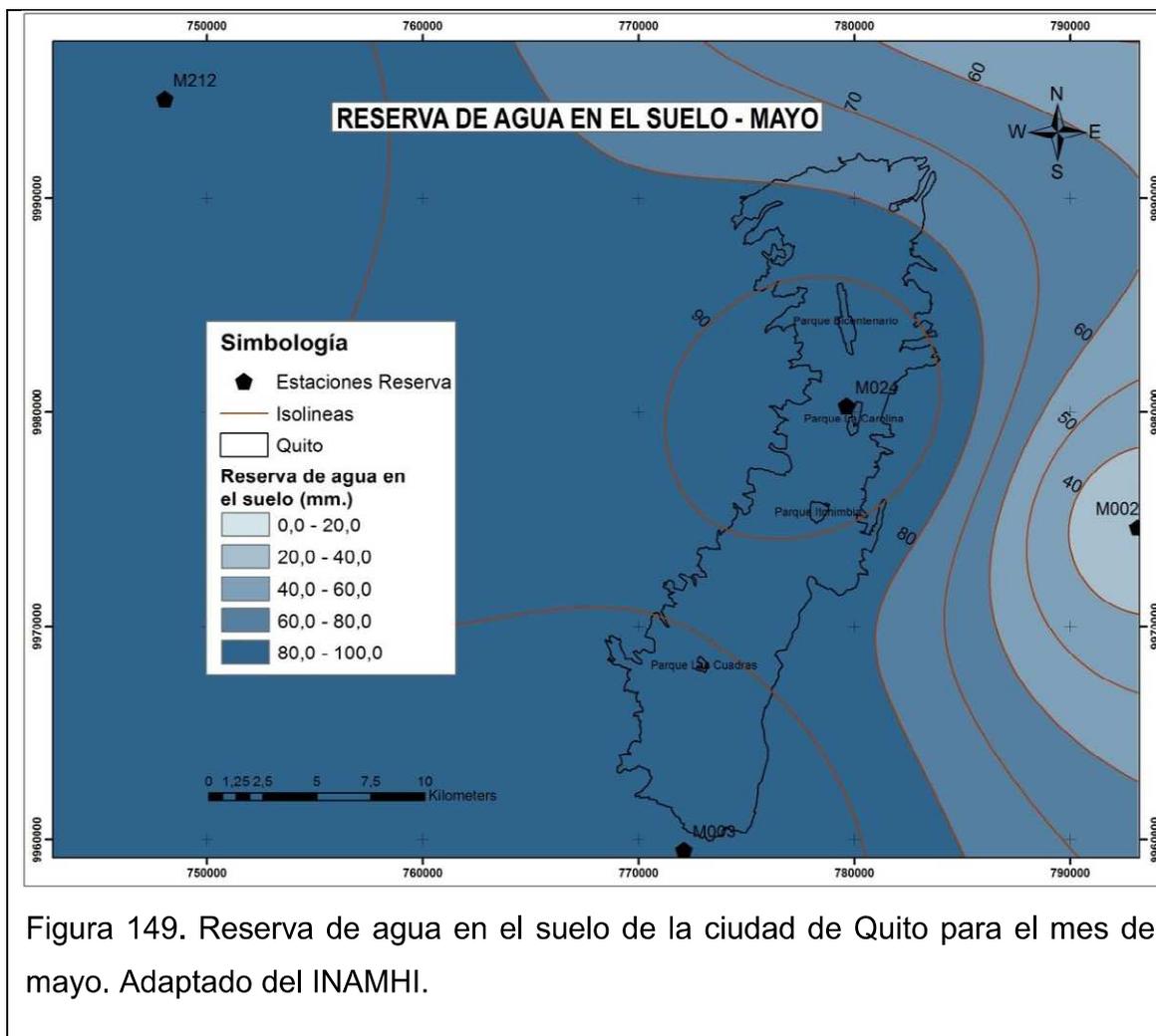
Rango: 800 - 100 mm.



Mayo

El mes que presenta condiciones de transición entre la época seca y lluviosa, también presenta reducción en sus reservas especialmente en el norte, aunque todavía no es de manera notoria (figura 150).

Rango: 75 - 100 mm.



Junio

En el sur de la ciudad las reservas se mantienen en niveles máximos, sin embargo la época seca no aporta con mayores precipitaciones por lo tanto las zonas donde no se presentan empiezan a ocupar las reservas para suplir las necesidades. Una prueba es la zona norte donde sus reservas son la mitad de las de la zona sur (figura 151).

Rango: 50 - 100.

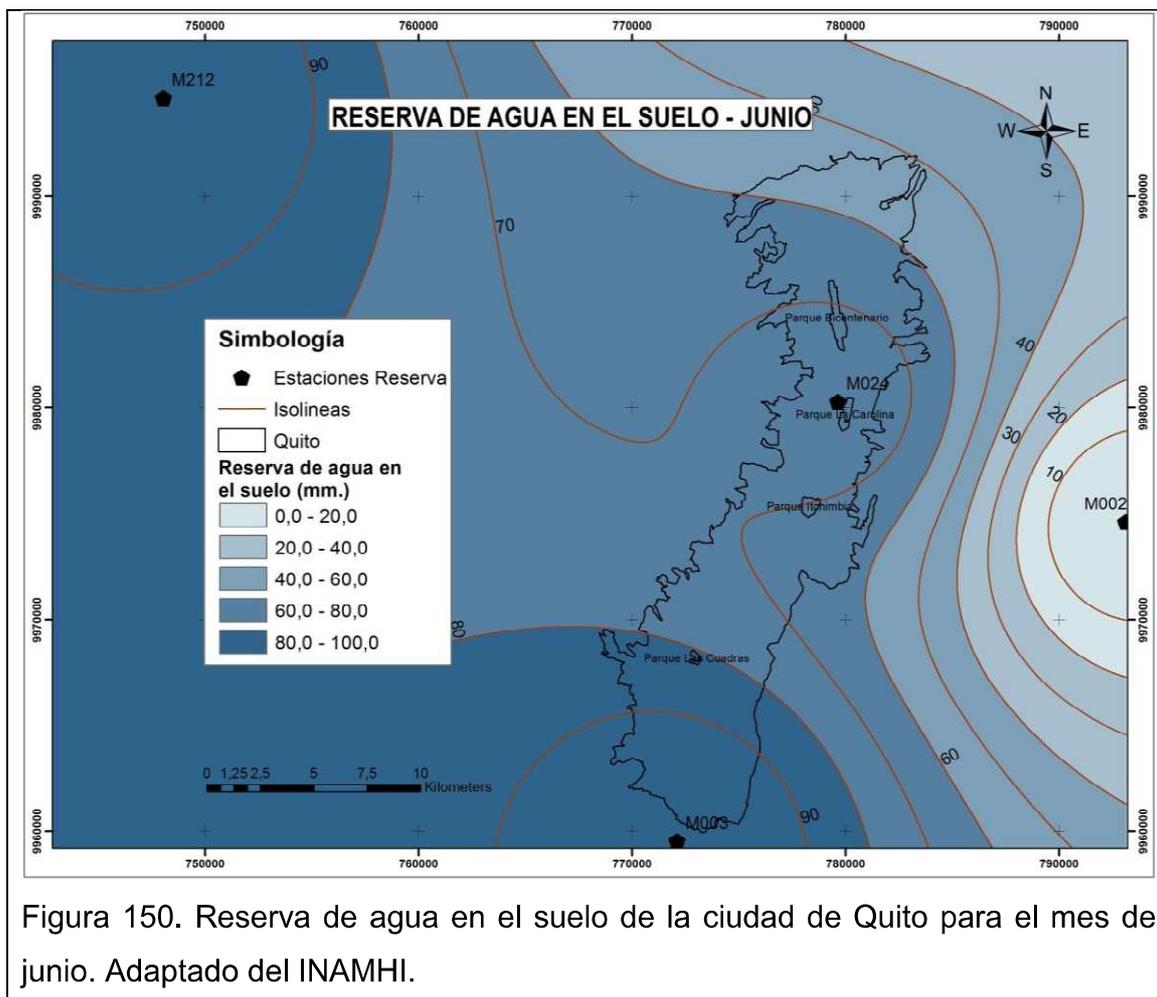
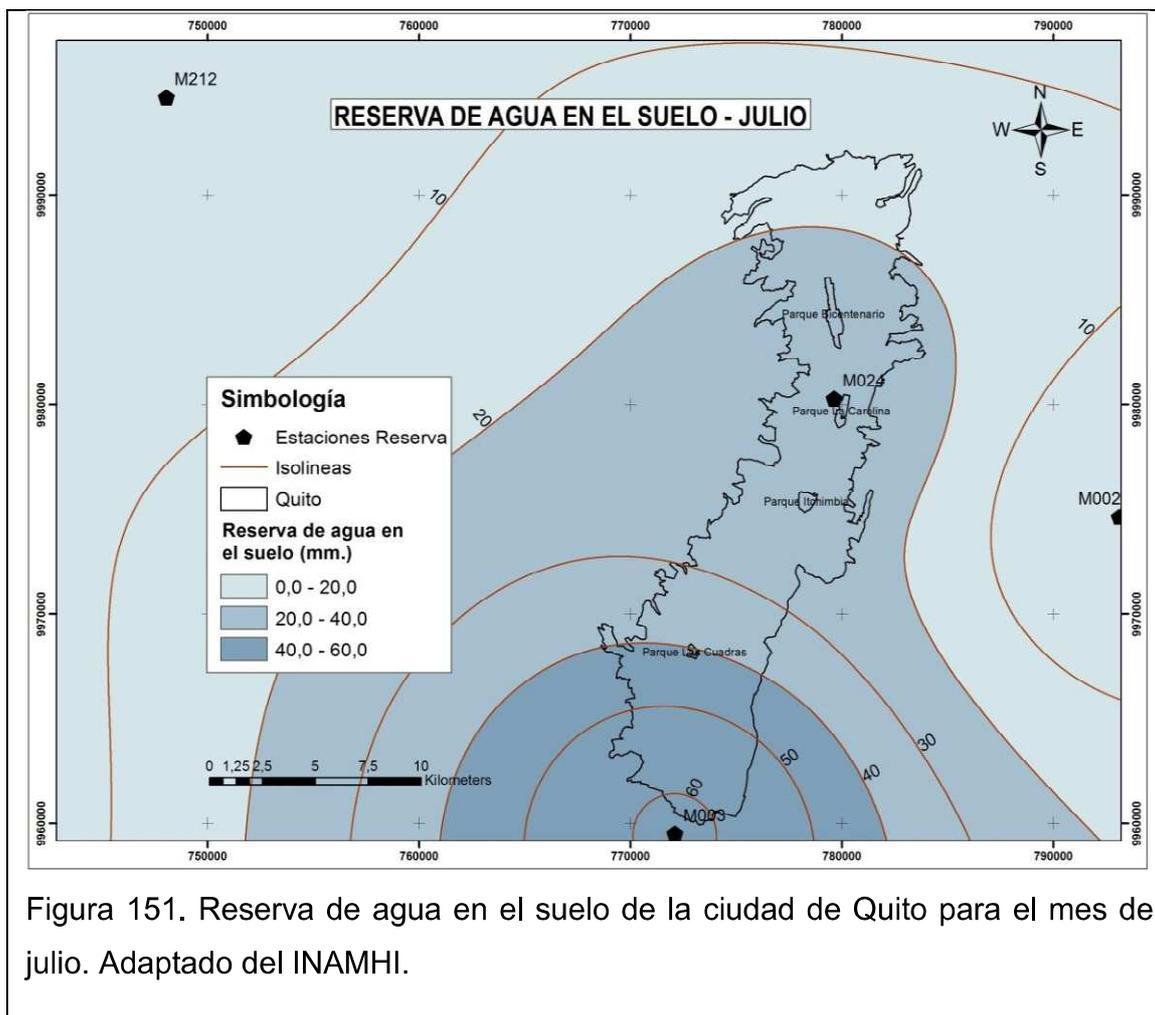


Figura 150. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de junio. Adaptado del INAMHI.

Julio

En uno de los meses más secos del año las reservas en el norte han descendido hasta los 5 mm., mientras que en el sur en sus reservas aún permanecen aproximadamente 30 - 60 mm (figura 152).

Rango: 5 - 60 mm.

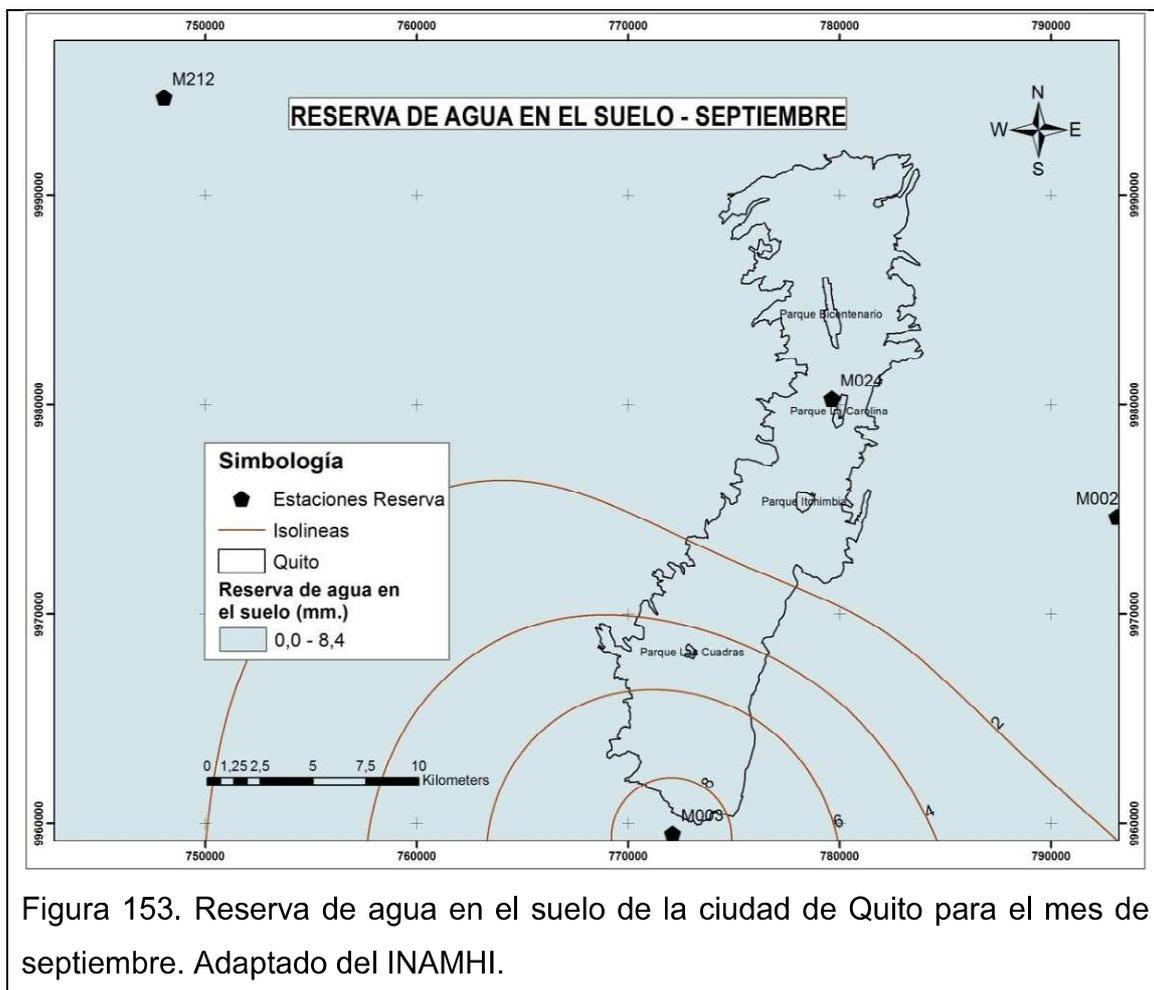


Agosto y septiembre

Las reservas para estos meses se han agotado y por lo tanto se deben cubrir las necesidades hídricas de la flora, especialmente para la evapotranspiración (figura 153 y 154). A pesar de que toda la ciudad se encuentra sin precipitaciones aún se conservan varios mm en la zona sur.

Rango: 0 - 3 mm.





Octubre

El cambio hacia la época lluviosa en el mes de septiembre permitió recargar ciertas zonas de la ciudad, pero en el presente mes en el sur, particularmente, ya se cuenta con la reserva máxima, la misma que decrece hacia el norte.

Rango: 25 - 100 mm.

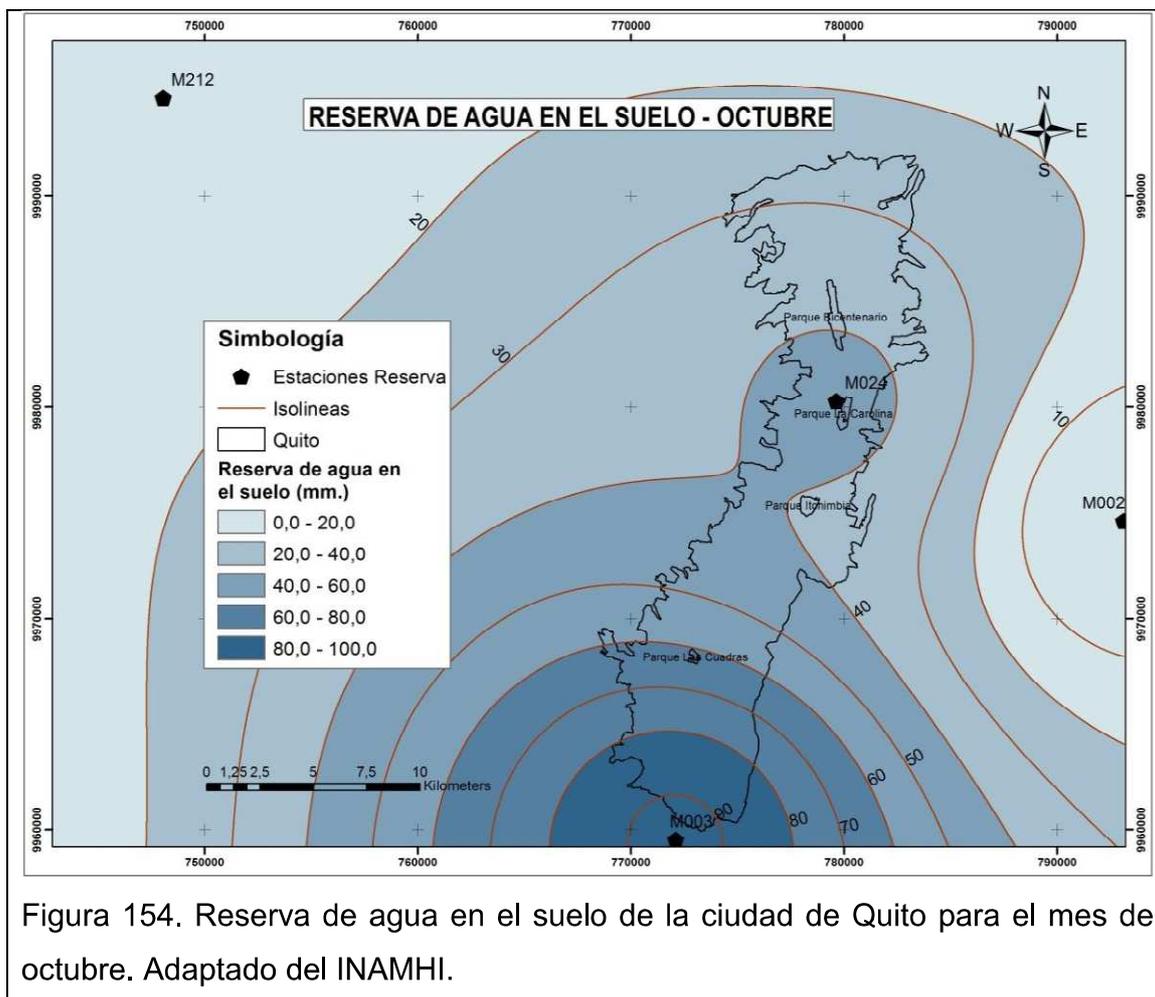
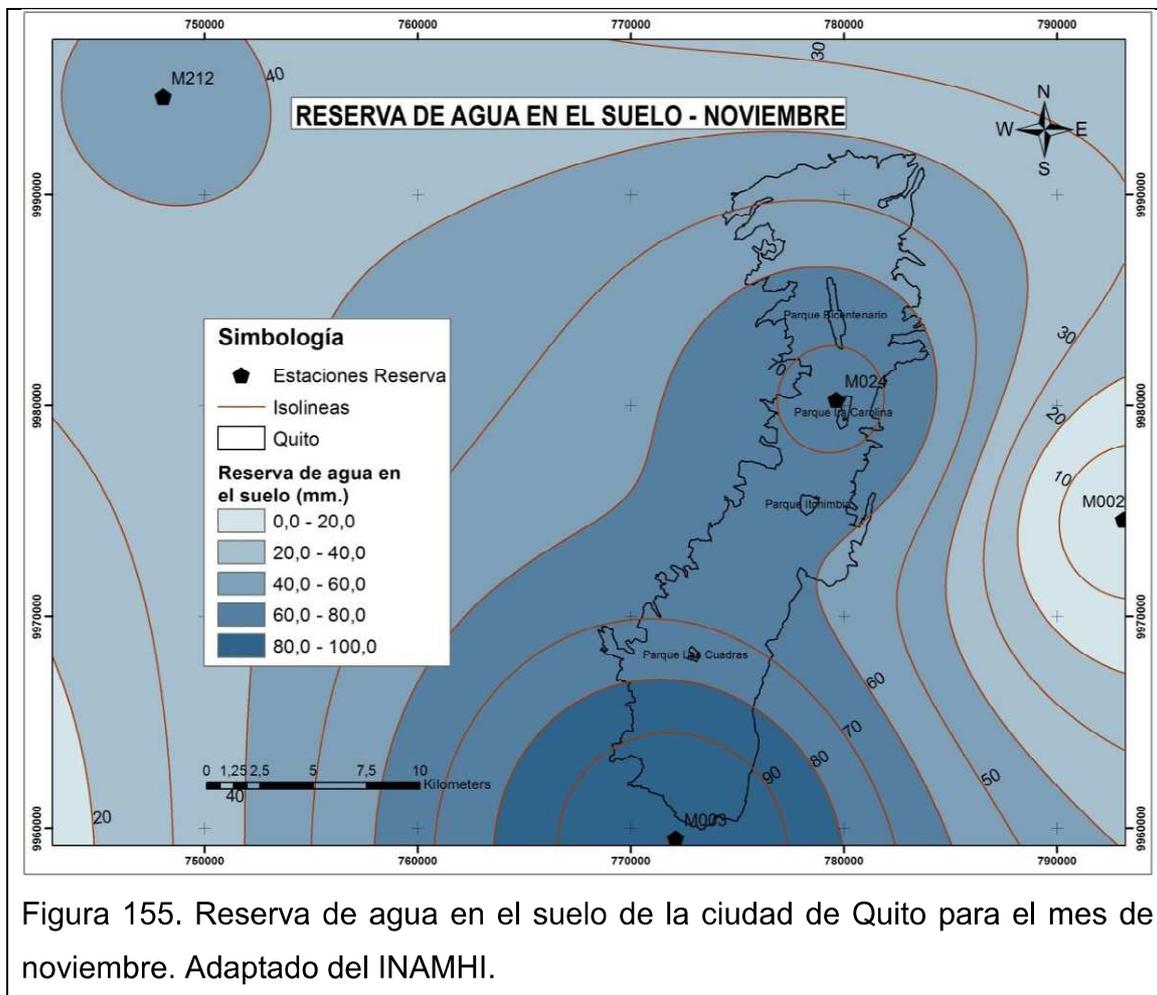


Figura 154. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de octubre. Adaptado del INAMHI.

Noviembre

La época lluviosa se encuentra en pleno desarrollo, aunque en esta período se presentan precipitaciones, aun no se alcanzan picos como en los registrados en los meses de noviembre y diciembre. En el sur la reserva es máxima, hasta el centro - sur alcanza los 70 mm a partir de este valor hacia el norte decrece a 60 mm y hasta 40 mm en el norte.

Rango: 40 - 100 mm.



Diciembre

Las precipitaciones en toda la ciudad ha recargado las reservas y nuevamente muchas se encuentran en valores próximos a la reserva máxima (figura 157). Desde el sur hasta el centro - norte de la ciudad los valores oscilan entre 80 - 100 mm., hacia el norte esto puede disminuir hasta los 50 mm.

Rango: 50 - 100 mm.

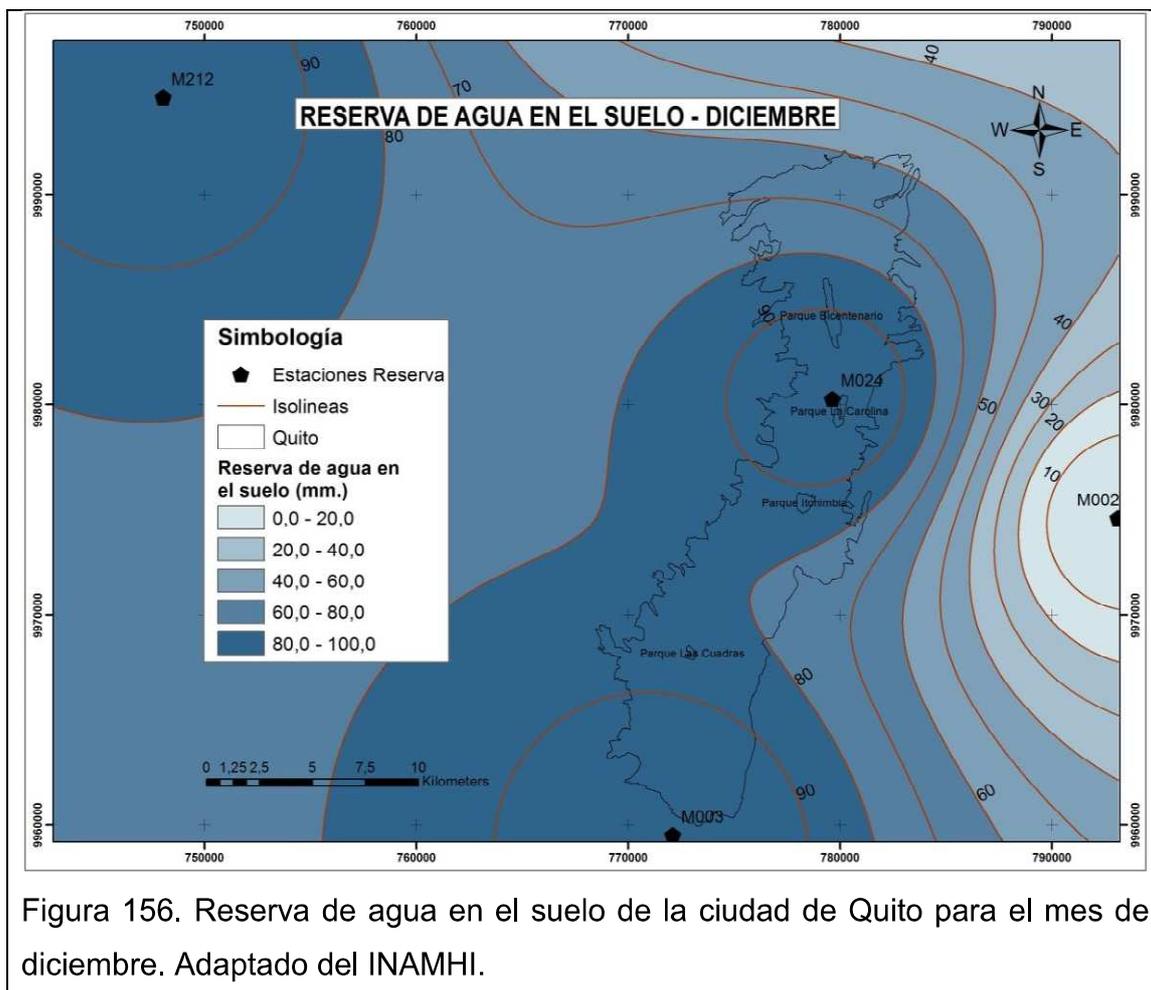


Figura 156. Reserva de agua en el suelo de la ciudad de Quito para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.

2.4.3. Evapotranspiración real

Aunque en el inciso 1.3.7 se analizó la ETo, en esta ocasión se considera también la influencia de la variable precipitación y reserva. Por lo tanto la ETR solo consumirá la cantidad de agua disponible a través de la precipitación y de la reserva del suelo.

Enero

Los valores son relativamente homogéneos (80 - 90 mm.) para este mes. Los valores máximos se presentan en la zona centro - norte (Iñaquito) (figura 158).

Rango: 80 - 90 mm.

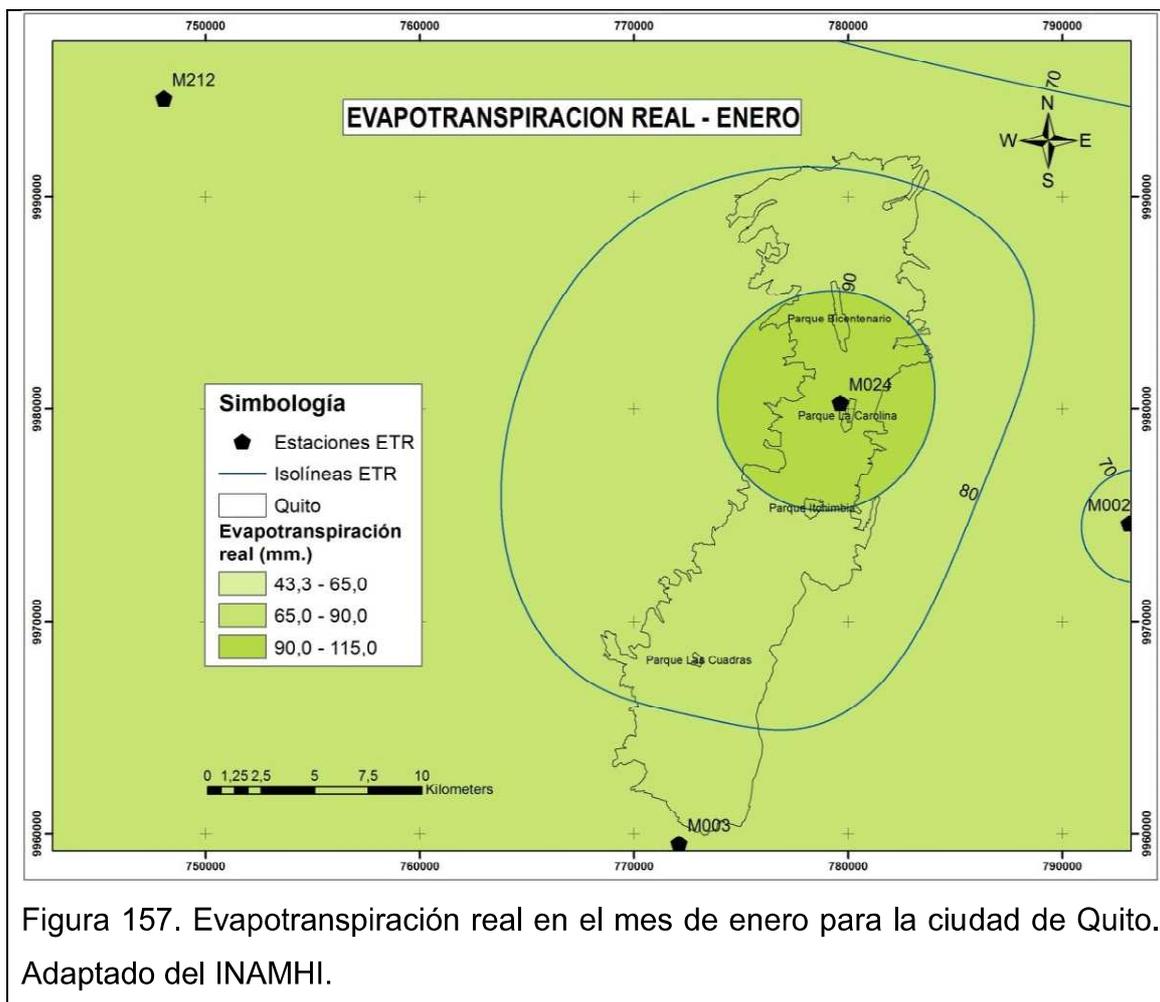
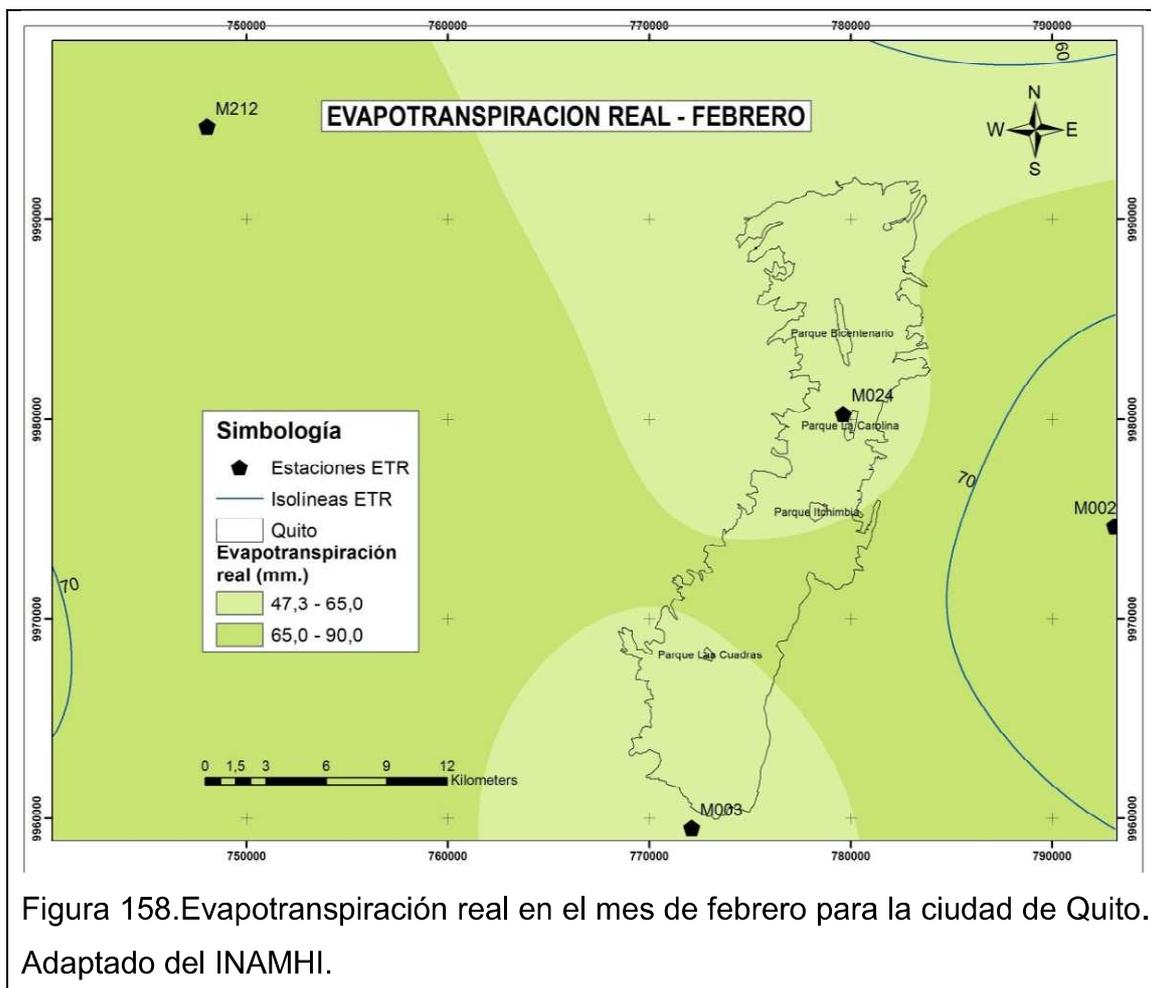


Figura 157. Evapotranspiración real en el mes de enero para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

Febrero

Aunque la época lluviosa se presenta en toda la ciudad y con mayor fuerza en el sur, no se puede evidenciar su relación, por el contrario es muy claro que mayores requerimientos se presentan en la zona norte y sur (figura 159).

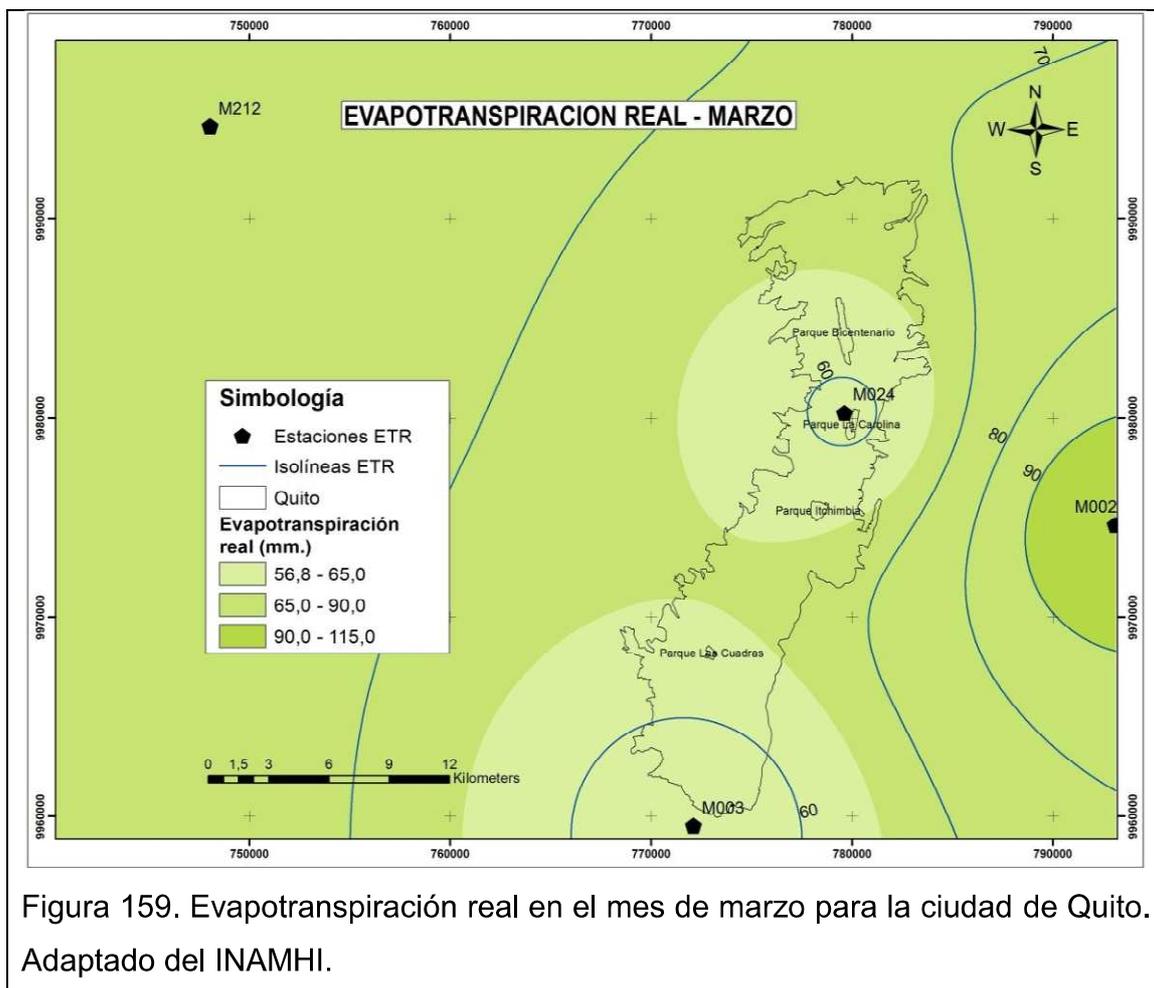
Rango: 60 - 65 mm.



Marzo

Es uno de los meses con mayor precipitación, las estaciones ubicadas dentro de la ciudad (Iñaquito e Izobamba) son las que en términos generales necesitan menos agua para cubrir sus necesidades (figura 160).

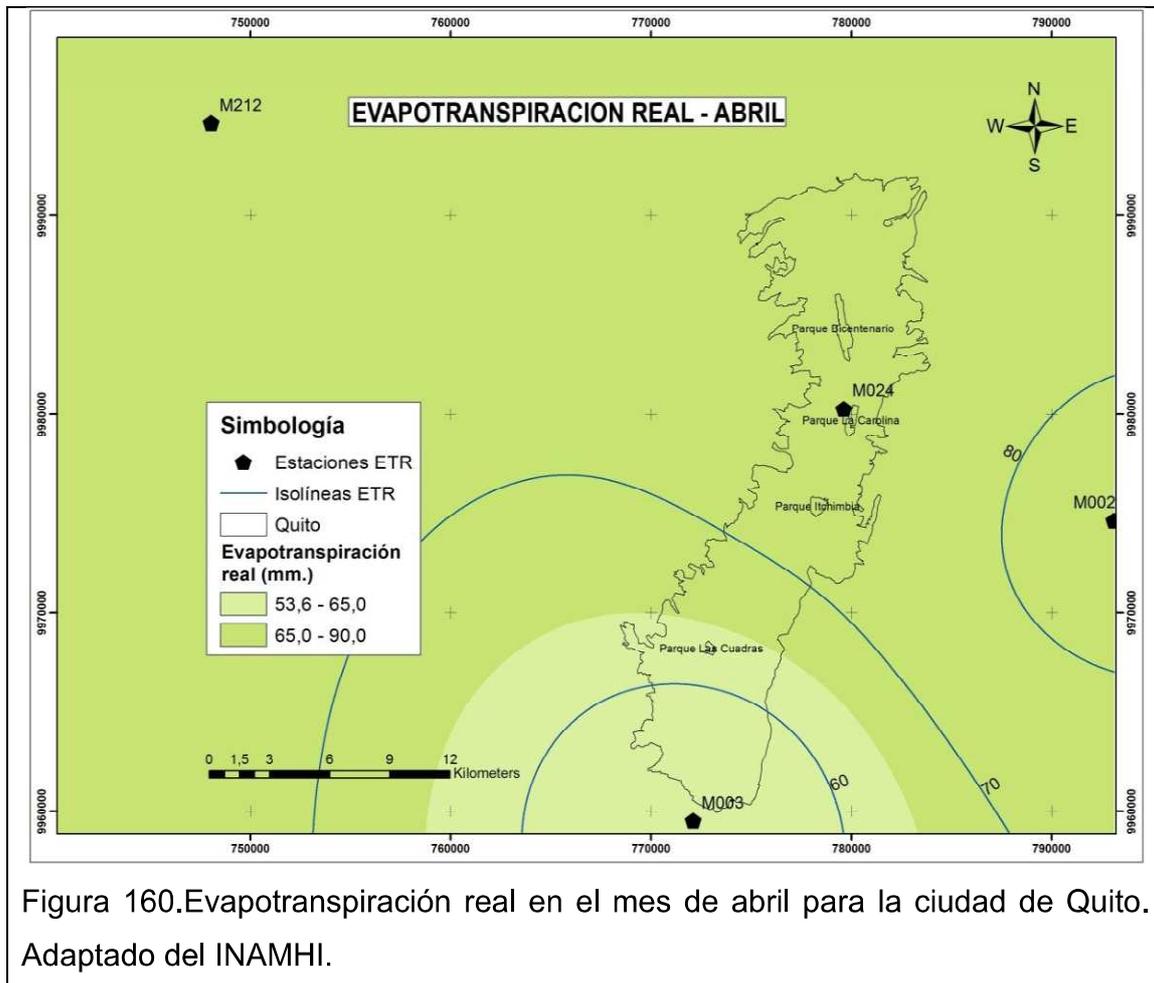
Rango: 55 - 70 mm.



Abril

Es el mes con mayores precipitaciones, el viento sopla de manera moderada y las temperaturas son constantes. La ETR requiere mayores niveles de agua en la zona oriental del DMQ (80 mm.) Para el norte de la ciudad hasta el centro - sur los requerimientos fluctúan entre 70 - 75 mm. y en el sur van de los 50 - 75 mm (figura 161).

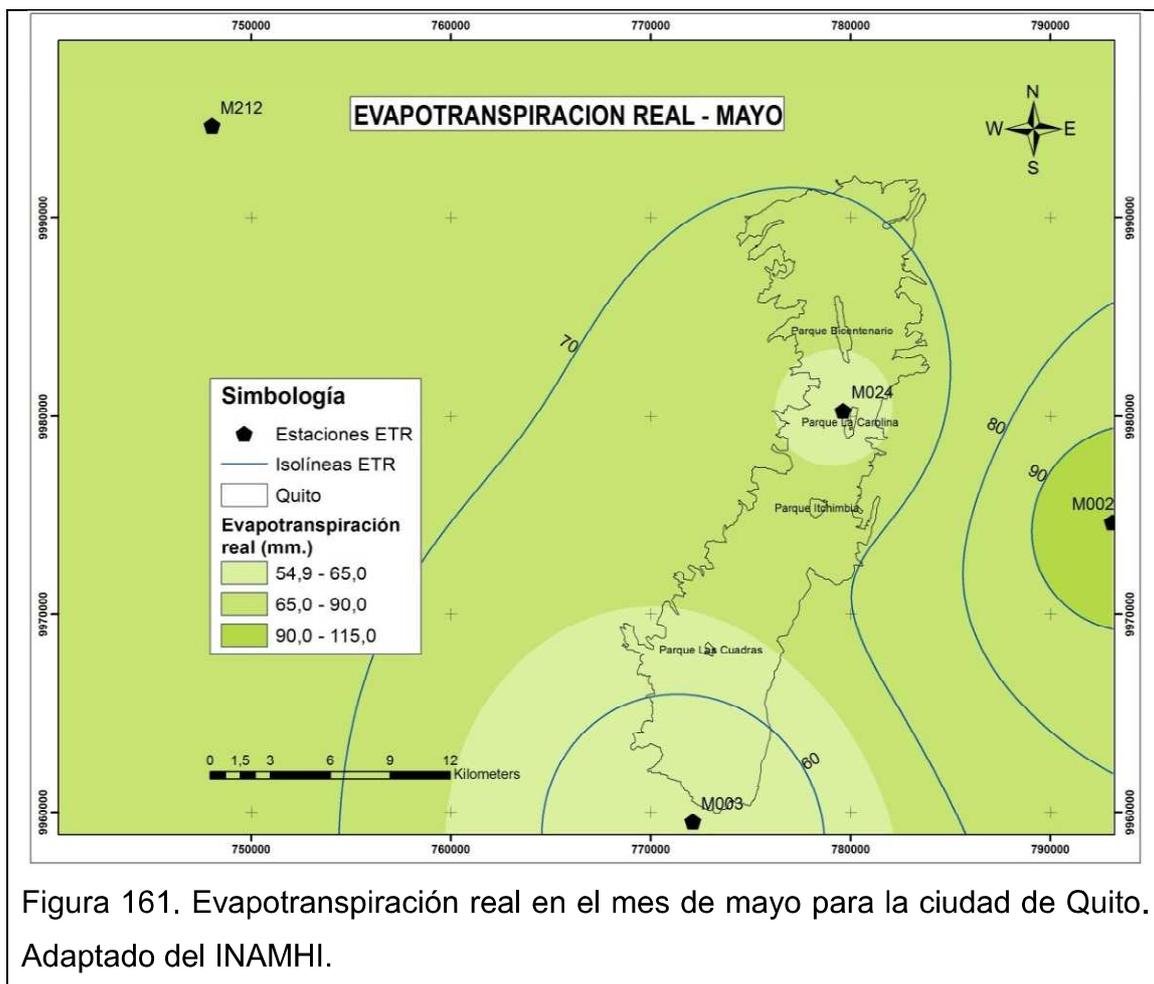
Rango: 50 - 75 mm.



Mayo

Los mayores requerimientos de agua se presentan en el norte de la ciudad (70 mm.) y desciende en 5 mm hasta la zona sur de la ciudad y hasta 10 mm más en el extremo de la ciudad (figura 162).

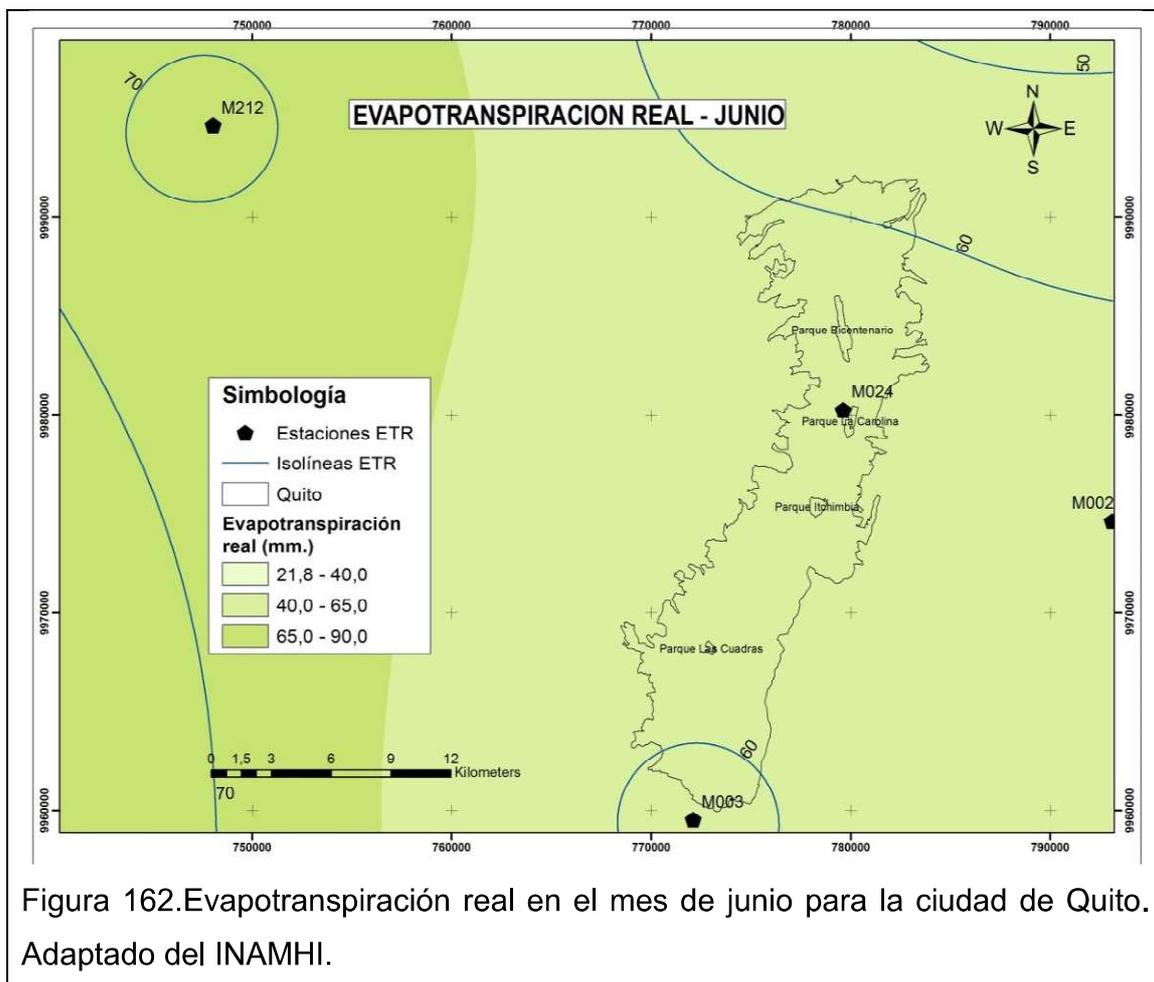
Rango: 50 - 70 mm.



Junio

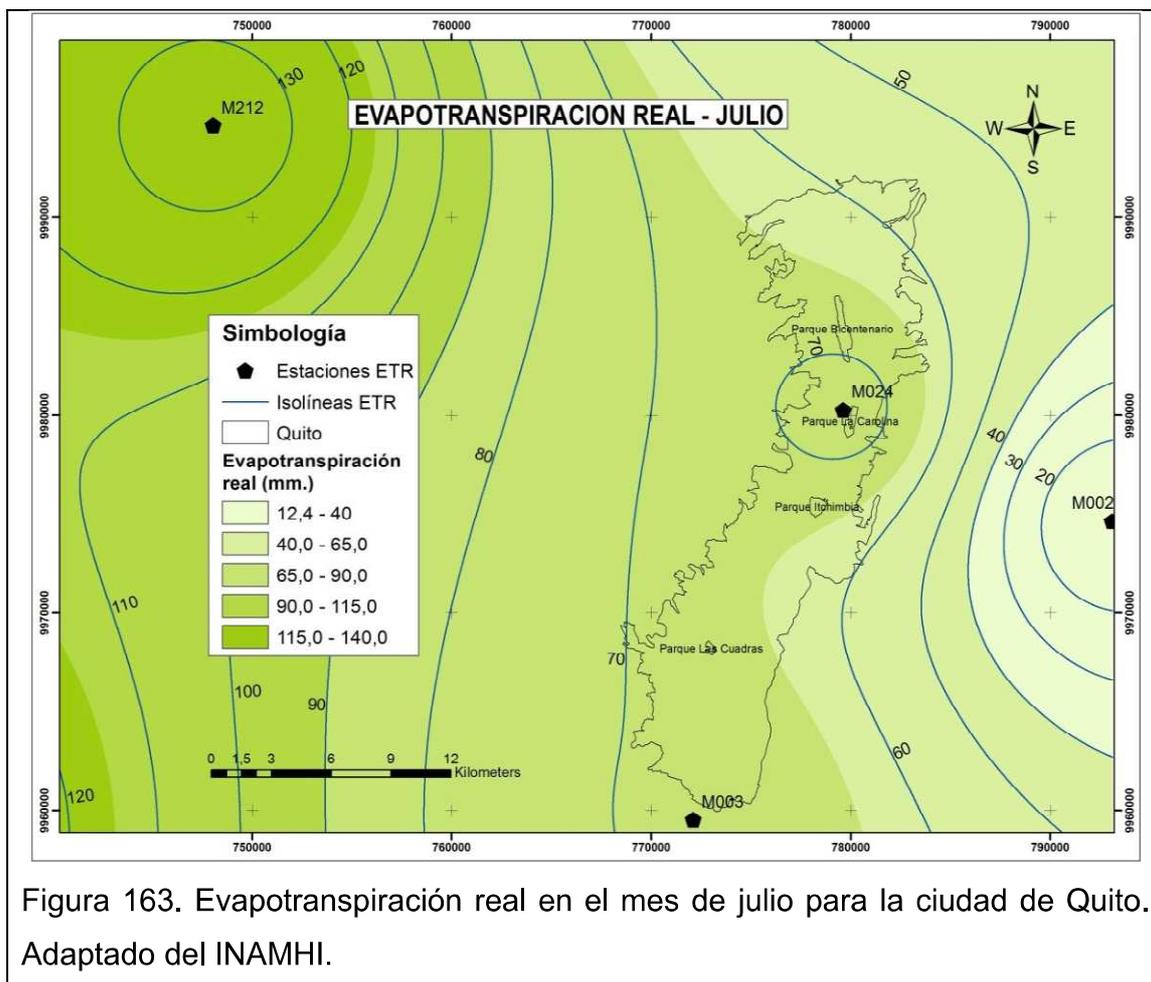
Es un mes homogéneo en cuanto a la demanda de agua para la ETR. Los valores fluctúan en promedio dentro de los 60 mm para toda la ciudad.

Rango: 60 mm.



Julio

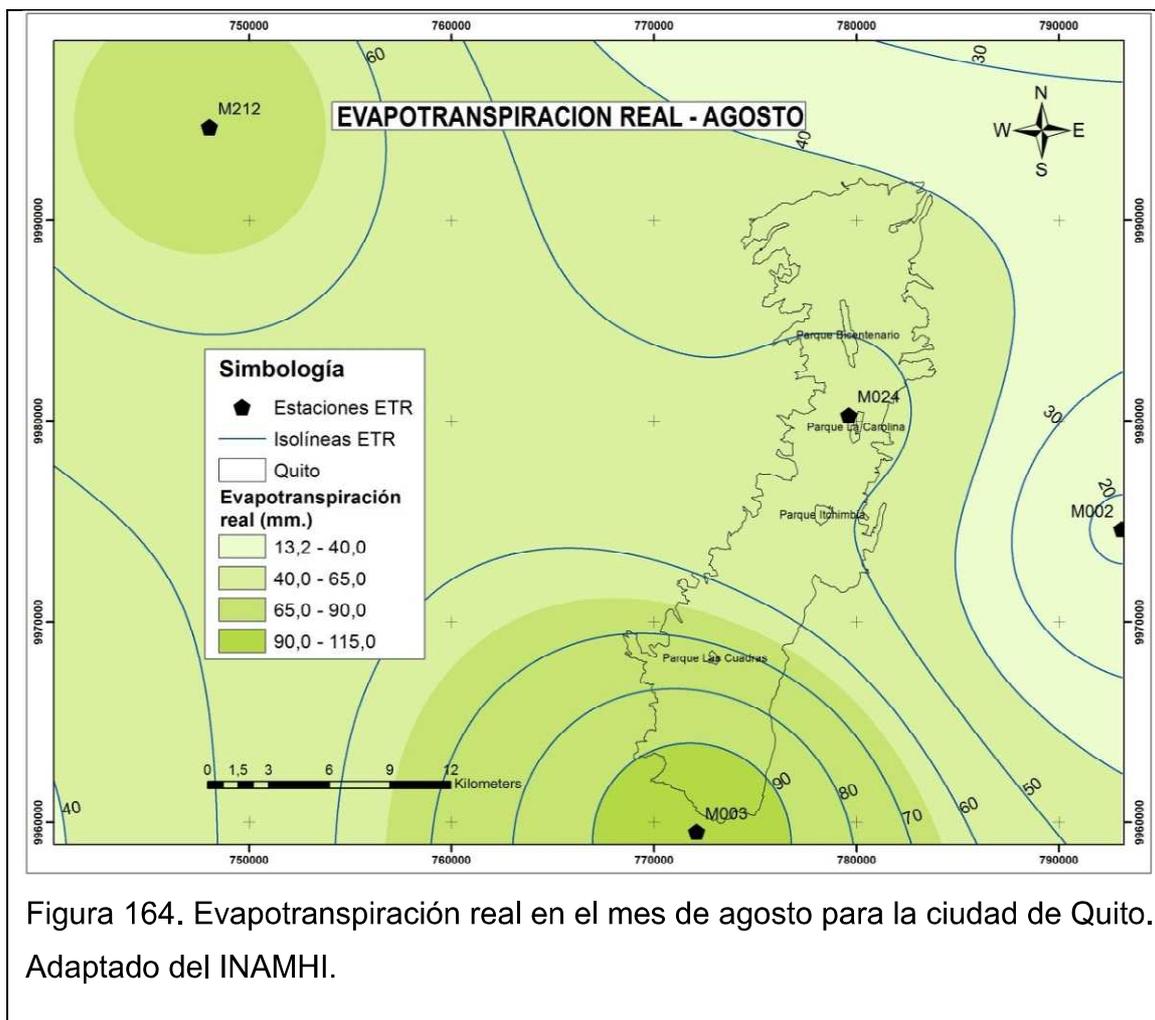
Extrañamente el rango de valores se modifica de norte a sur, pero en este mes se presenta de este a oeste. En la zona más oriental de la ciudad (este) los valores son de 60 mm hasta 70 mm en la zona occidental (figura 164).



Agosto

Este mes de la época seca determina que los valores donde más se evapotranspira es en aquellos que cuentan con el agua para hacerlo, por lo tanto, la zona sur es la que más evapotranspira y disminuye conforme se aproxima la zona norte.

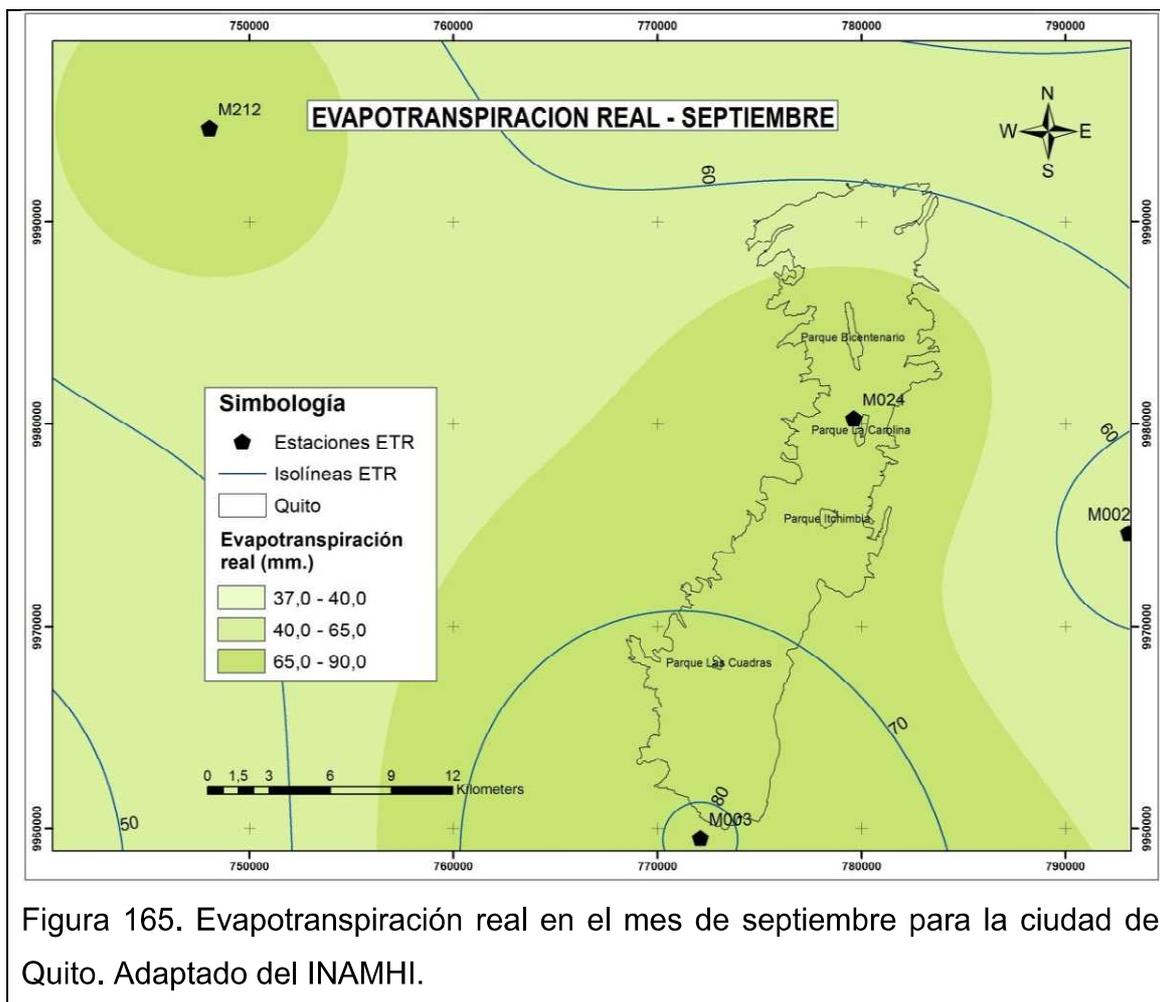
Rango: 40 - 100 mm.



Septiembre

En un mes donde la época seca termina y empieza a la húmeda, el mayor requerimiento de agua para el ETR se ubica en la zona sur y hacia el norte esta disminuye hasta 65 mm en el sector del parque Bicentenario y luego a los 60 mm en los límites de la ciudad (figura 166)

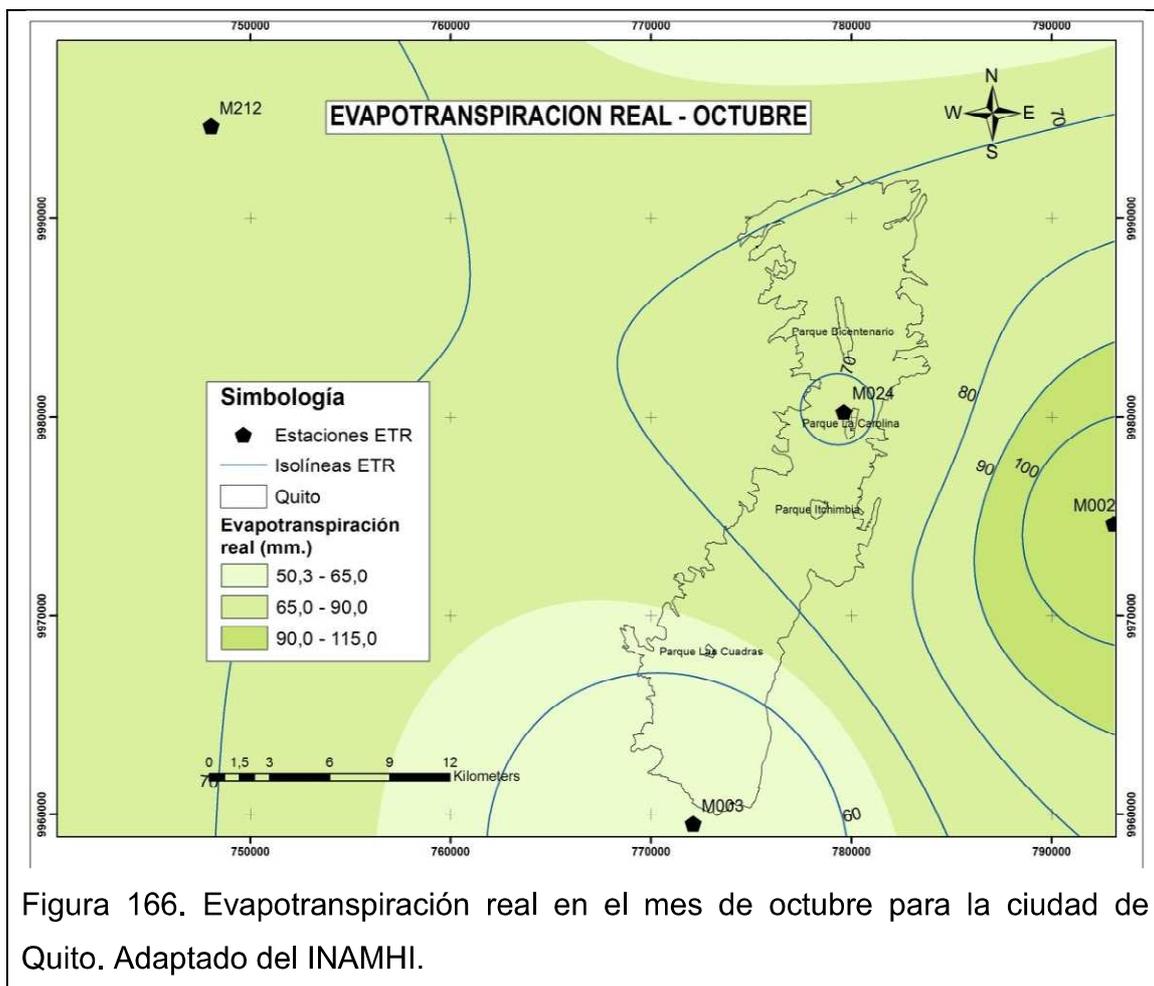
Rango: 60 - 80 mm.



Octubre

Ahora el sur es la zona que requiere menos agua para la ETR y así pasa de 50 mm en el sur a 70 mm en la zona norte, los cuales pueden aumentar a medida que se aproximan a los borde orientales de la ciudad.

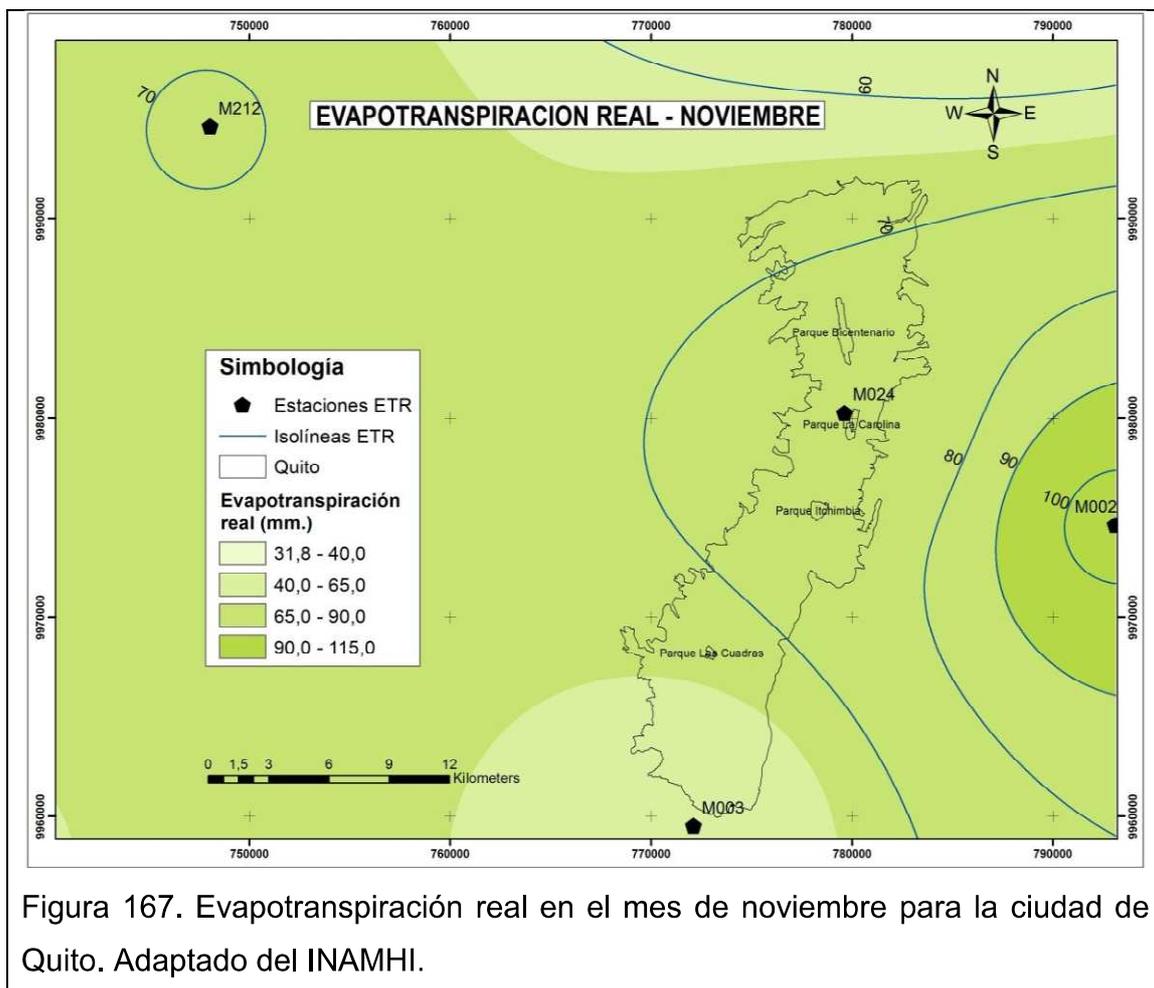
Rango: 50 - 75 mm.



Noviembre

La ETR requiere más agua del norte de la ciudad, aproximadamente 70 mm., mientras que el sur se requiere 10 mm menos al mes (figura 168).

Rango: 60 - 75 mm.



Diciembre

Es un mes donde la zona norte requiere 70 mm y la zona sur 60 mm y a lo largo de toda la ciudad entre estos límites oscila una gama de posibilidades, la zona centro - norte en su lado oriental pueden presentar requerimientos superiores

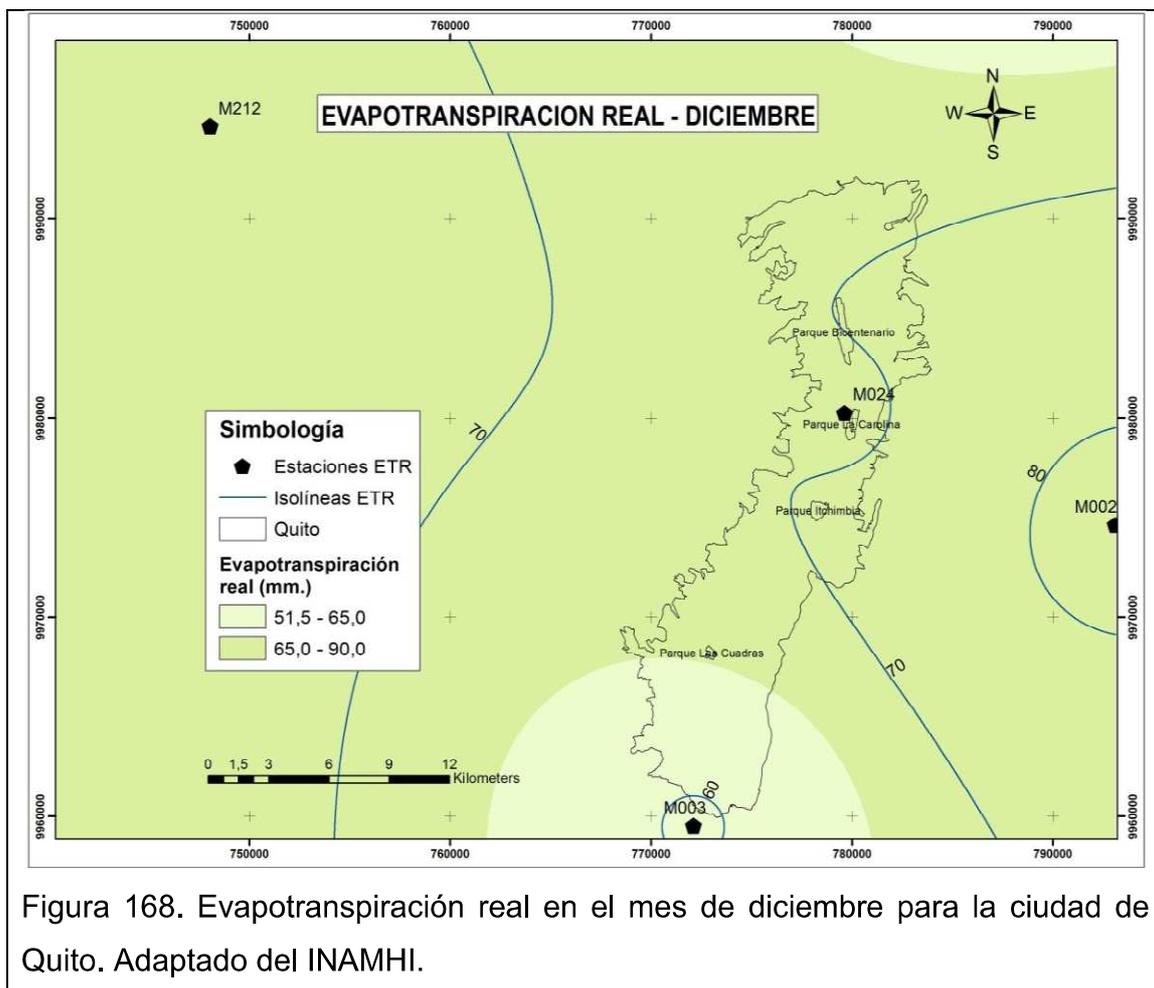


Figura 168. Evapotranspiración real en el mes de diciembre para la ciudad de Quito. Adaptado del INAMHI.

2.4.4. Falta

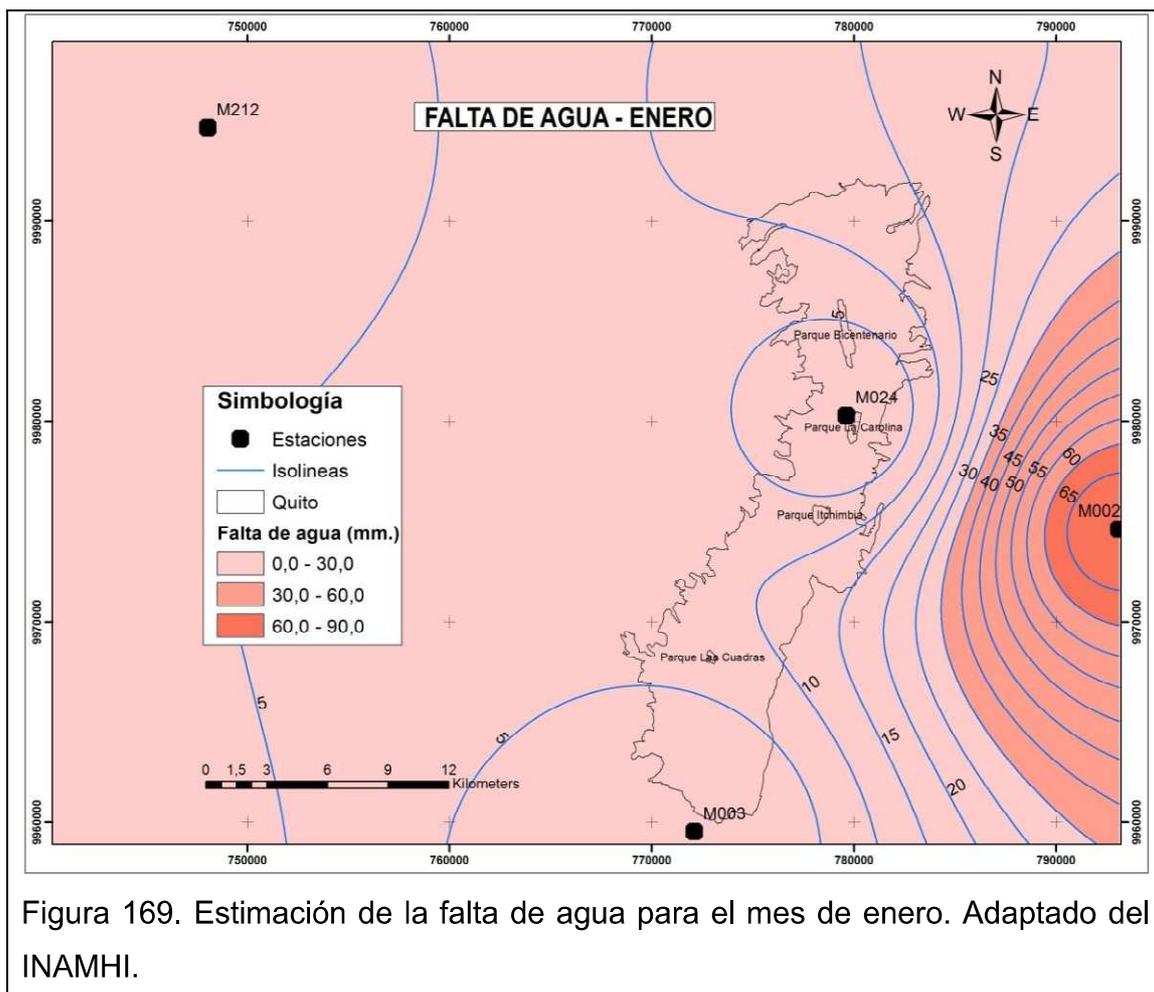
Dentro del balance hídrico, la falta de agua es un parámetro que nos permite estimar la cantidad de agua que se debe tener para cubrir con las necesidades potenciales (evaporar y transpirar).

Enero

Las precipitaciones en la ciudad se mantienen desde los meses de septiembre y octubre, sin embargo, la cantidad de agua que se necesita para complementar las necesidades de la vegetación en la ciudad van desde los 0 mm para la zona sur y

centro norte de la ciudad, pero, hacia el oriente de la ciudad, especialmente en las zonas centro - sur y norte, los valores pueden alcanzar los 10 mm.

Rango: 0 - 10 mm.

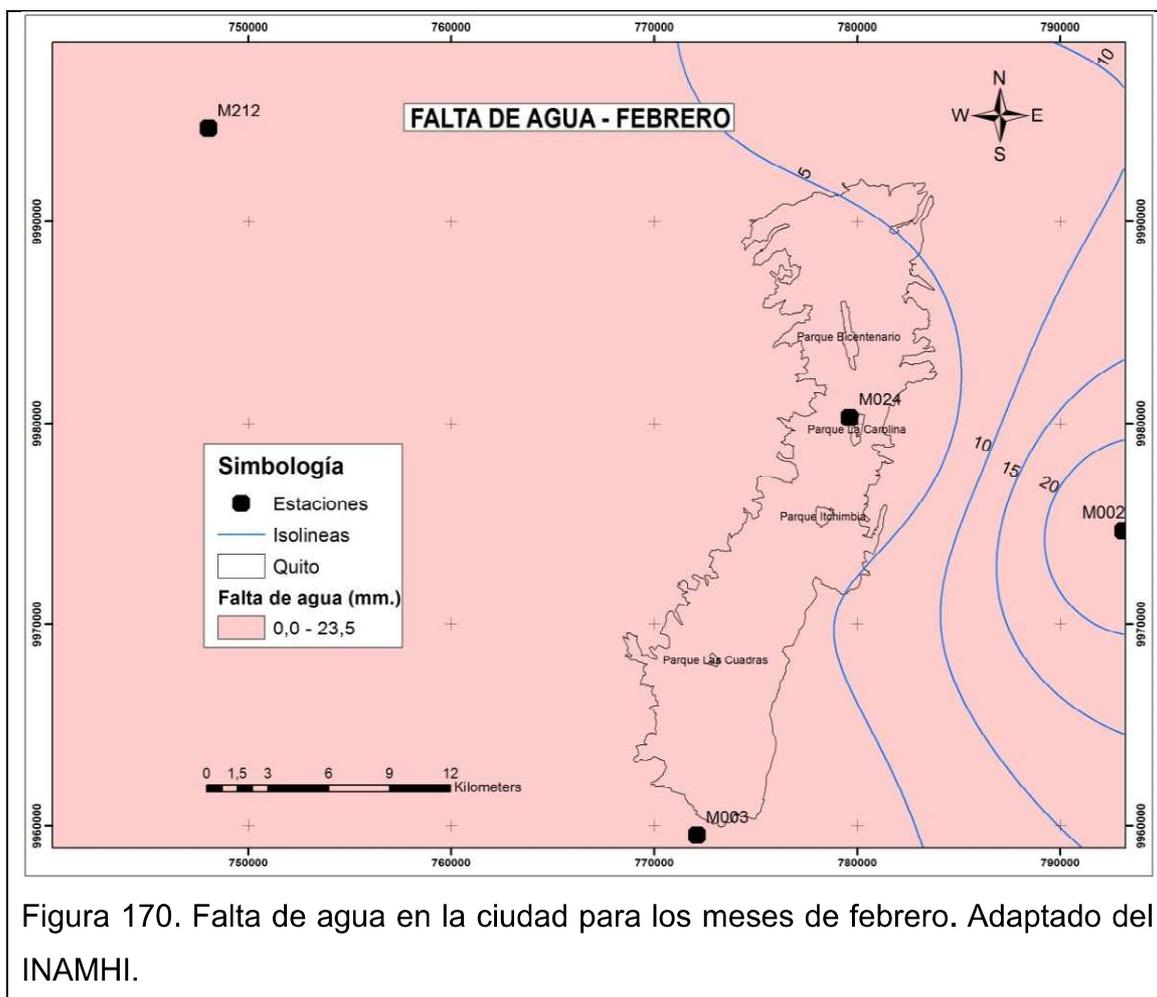


Febrero, marzo, abril y mayo

Las necesidades potenciales de agua son muy cercanas a cero, debido principalmente a la precipitaciones en estos meses son las de las más altas del

año por lo tanto se reduce la posibilidad de requerir agua extra, especialmente en el mes de abril (figuras 171 - 174).

Rango: 0 - 5 mm.



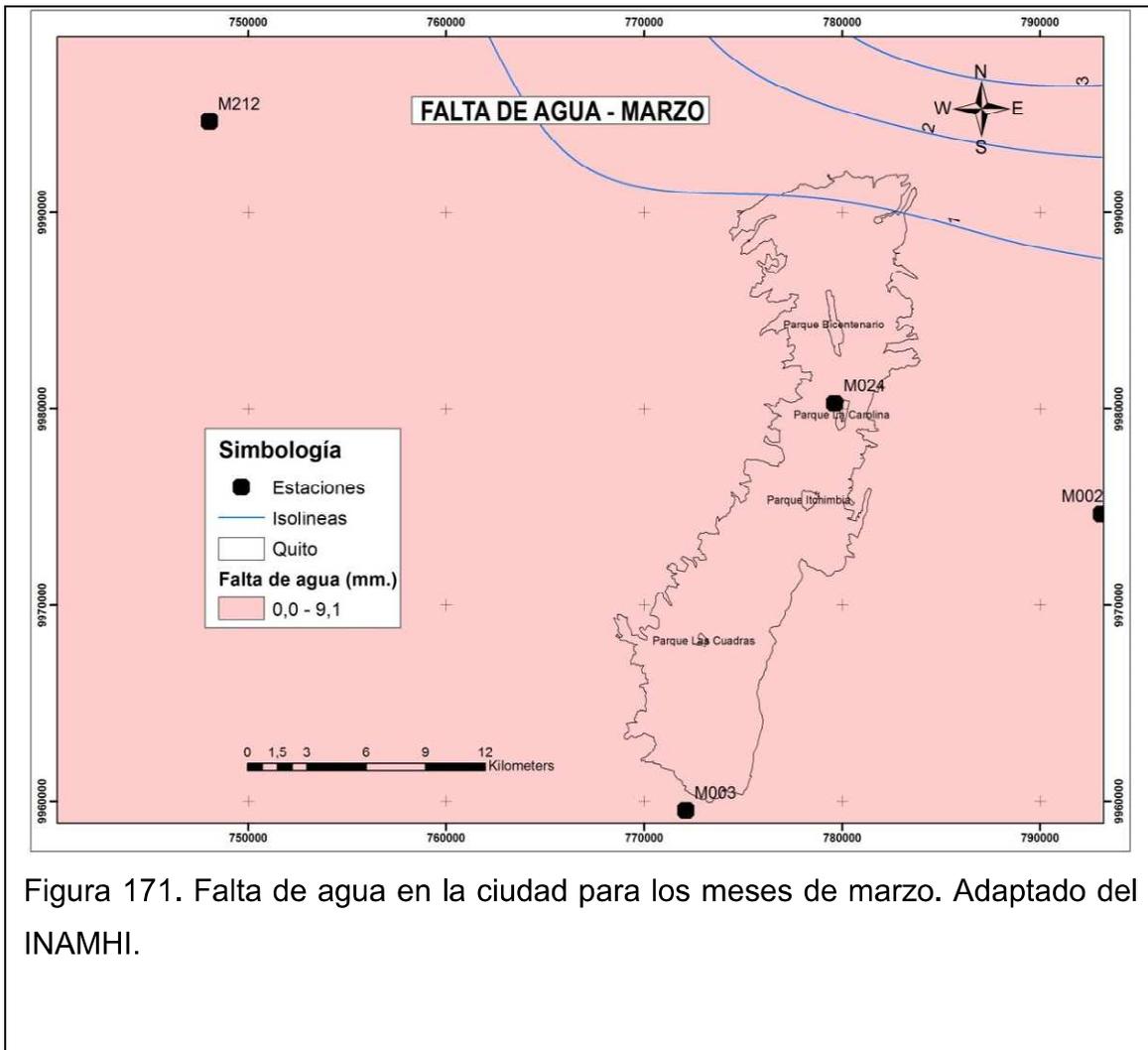


Figura 171. Falta de agua en la ciudad para los meses de marzo. Adaptado del INAMHI.

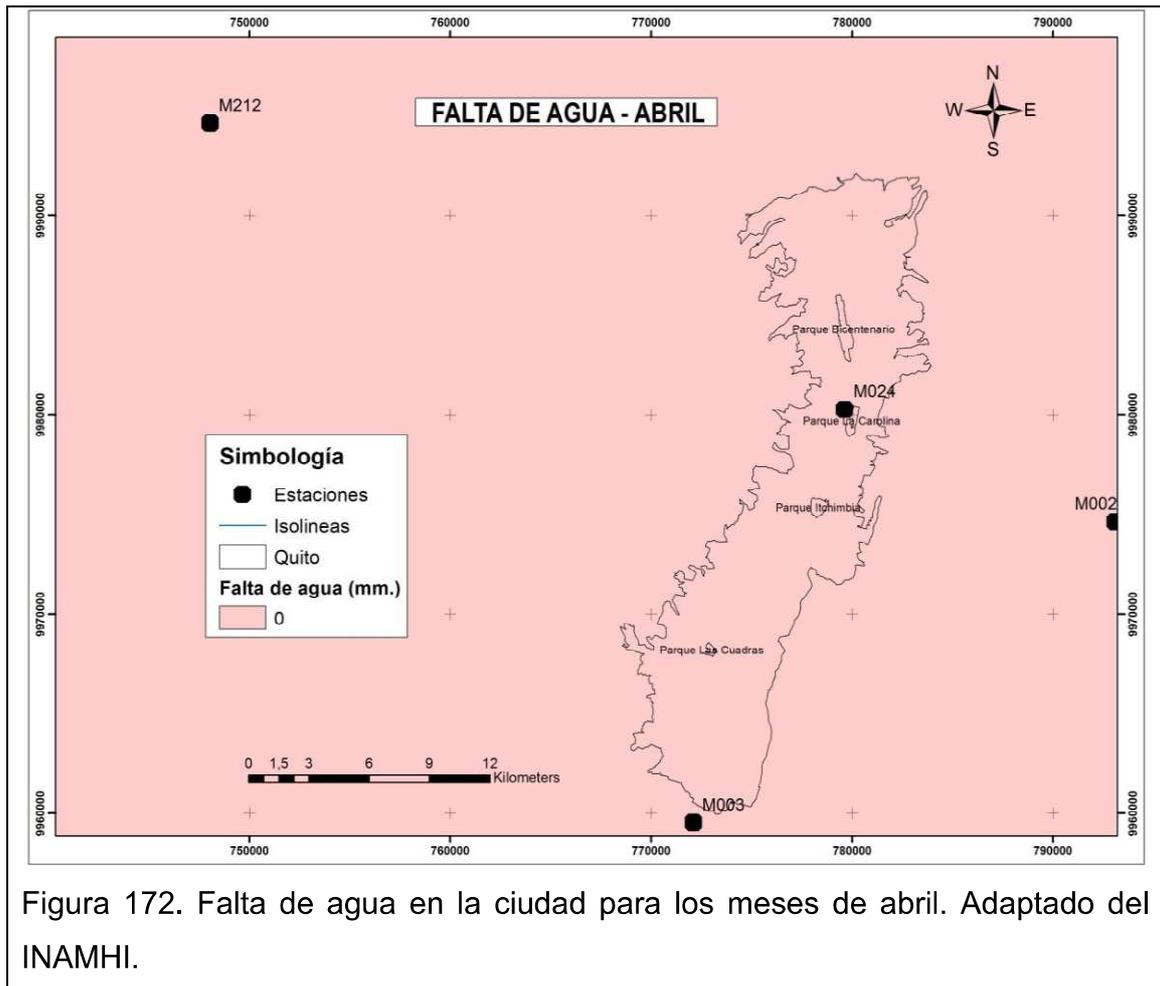


Figura 172. Falta de agua en la ciudad para los meses de abril. Adaptado del INAMHI.

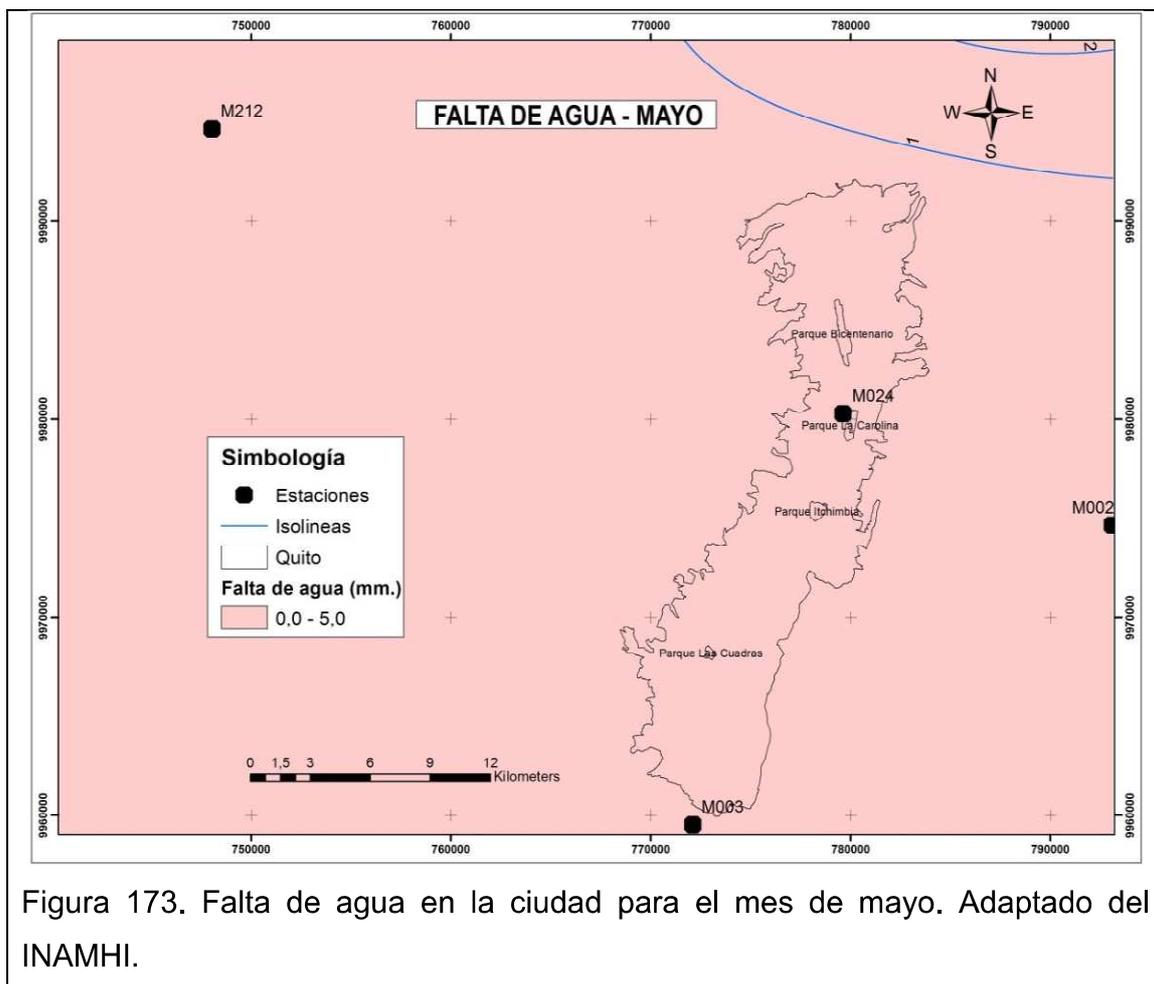


Figura 173. Falta de agua en la ciudad para el mes de mayo. Adaptado del INAMHI.

Junio

Al inicio de la época seca las condiciones no varían demasiado como se podría suponer, esto se debe a que aún se mantiene una buena reserva de agua en el suelo, resultado de las precipitaciones del mes anterior. En ciertas zonas de la ciudad no se necesitaría aportar con agua, sin embargo en la zona nor - oriental y oriental de la ciudad se puede requerir hasta 20 mm (figura 175).

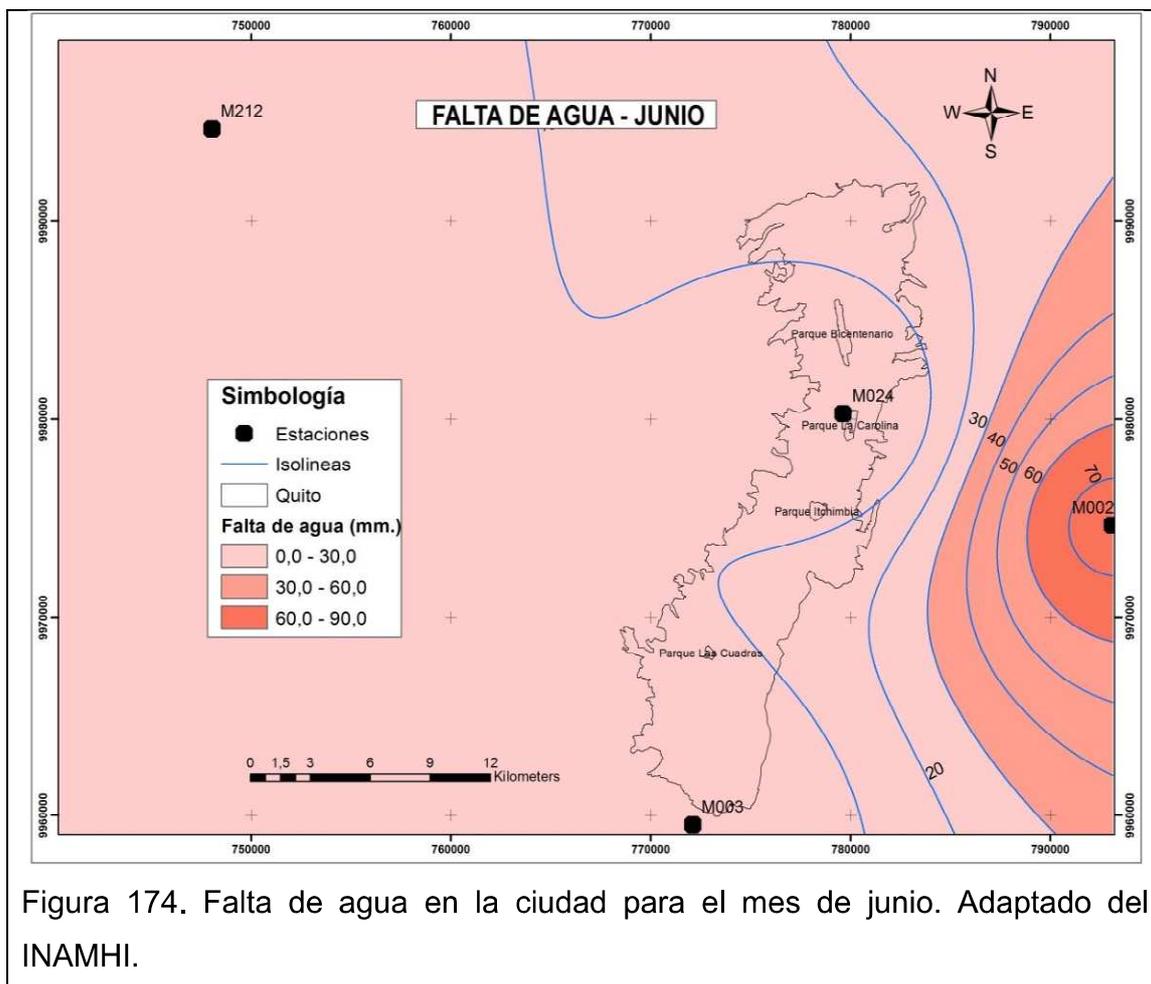


Figura 174. Falta de agua en la ciudad para el mes de junio. Adaptado del INAMHI.

Julio

En plena época seca aún se presentan ciertos lugares en la ciudad donde las necesidades potenciales de agua son muy cercanas a 0 mm (figura 176). Pero en otras como las zonas centro - sur y centro - norte pueden llegar a requerir aproximadamente 20 mm. En la zona norte este volumen se incrementará paulatinamente hasta llegar a los 30 mm.

Rango: 0 - 30 mm.

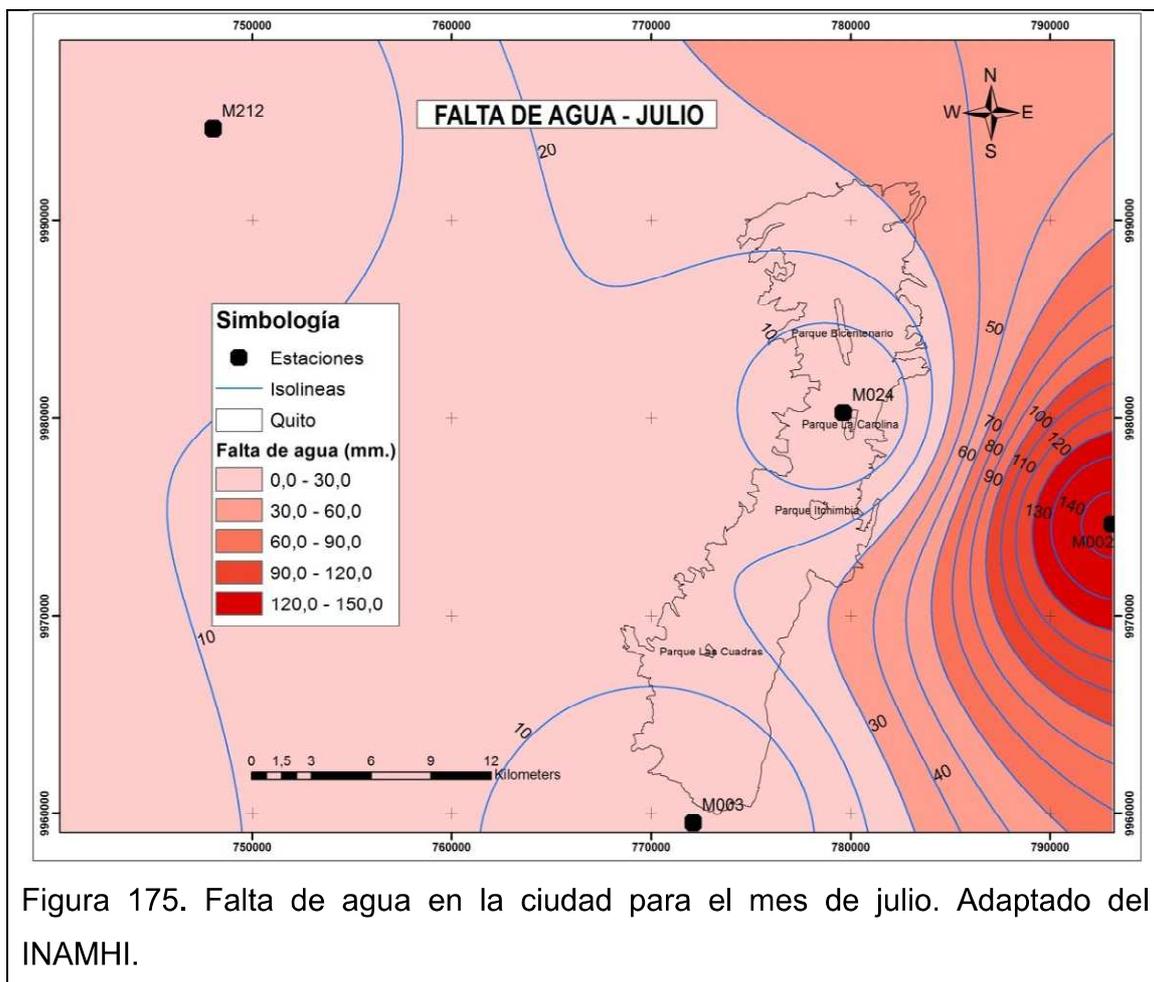
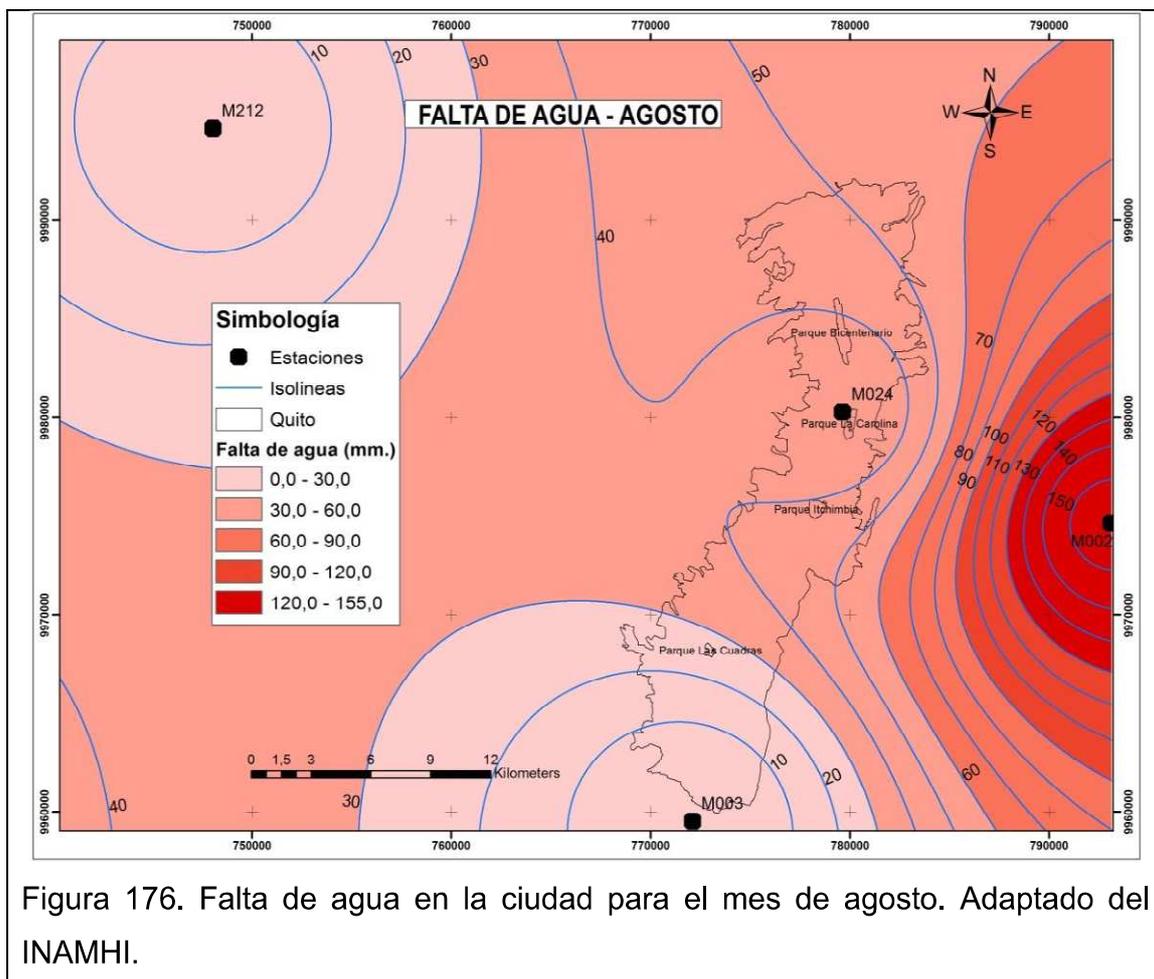


Figura 175. Falta de agua en la ciudad para el mes de julio. Adaptado del INAMHI.

Agosto

Uno de los meses con menos precipitaciones, especialmente en la zona norte de la ciudad se ha mermado las reservas del suelo y por ende la cantidad de agua para cubrir sus necesidades aumenta. En el sur oscila de 0 - 30 mm y partir de aquí hasta el norte aproximadamente se necesitarían hasta 55 mm.

Rango: 0 - 55 mm.



Septiembre

Su comportamiento se asemeja mucho con lo ocurrido en el mes de Julio, se podría decir que requiere un poco más de agua para cubrir sus insuficiencias. De norte a sur empieza con 30 mm hacia el centro descenden los requerimientos en 20 mm, manteniendo esta tendencia hacia el centro - sur. La necesidad de agua se reduce más al sur hasta los 10 y en la periferia sur de la ciudad puede no requerir (figura 178).

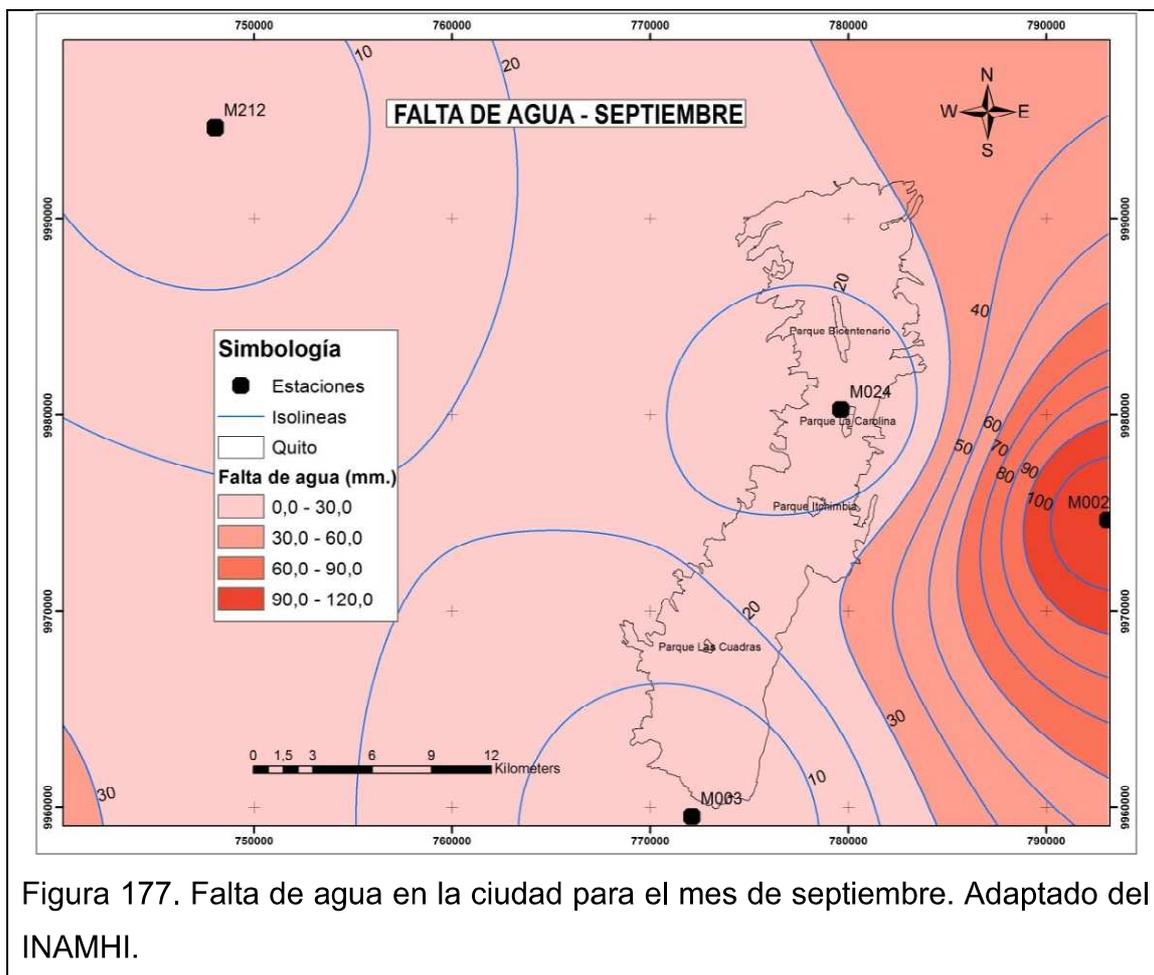


Figura 177. Falta de agua en la ciudad para el mes de septiembre. Adaptado del INAMHI.

Octubre, noviembre y diciembre

Tres meses consecutivos donde las necesidades hídricas descienden hasta los 9 mm (zona seca), como se ha explicado anteriormente el aporte de precipitaciones permite que las reservas del suelo aumenten y por ende la de agua se reduzca.

Octubre requiere hasta 9 mm (figura 179), noviembre hasta 8 mm (figura 180) y diciembre hasta 6 mm (figura 181).

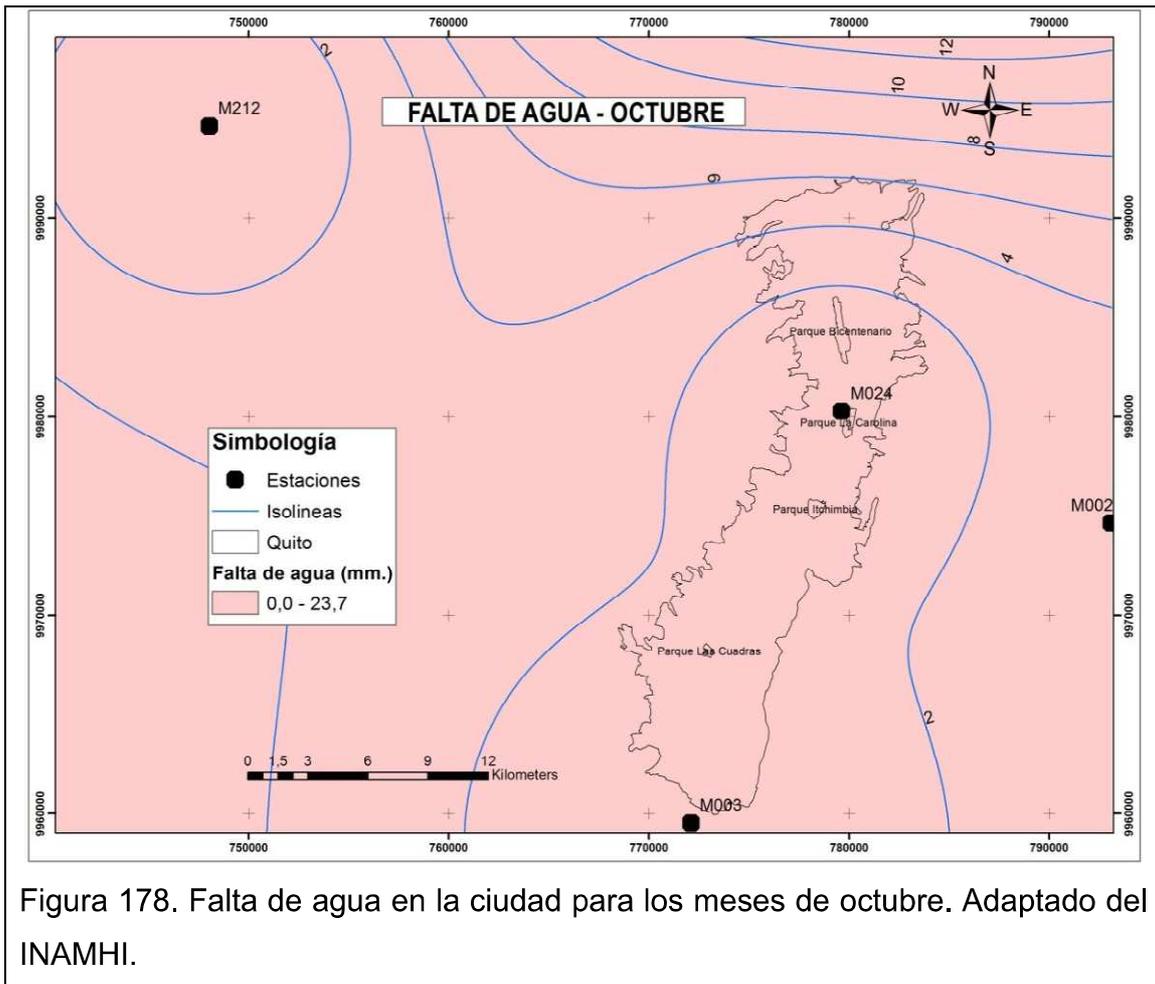


Figura 178. Falta de agua en la ciudad para los meses de octubre. Adaptado del INAMHI.

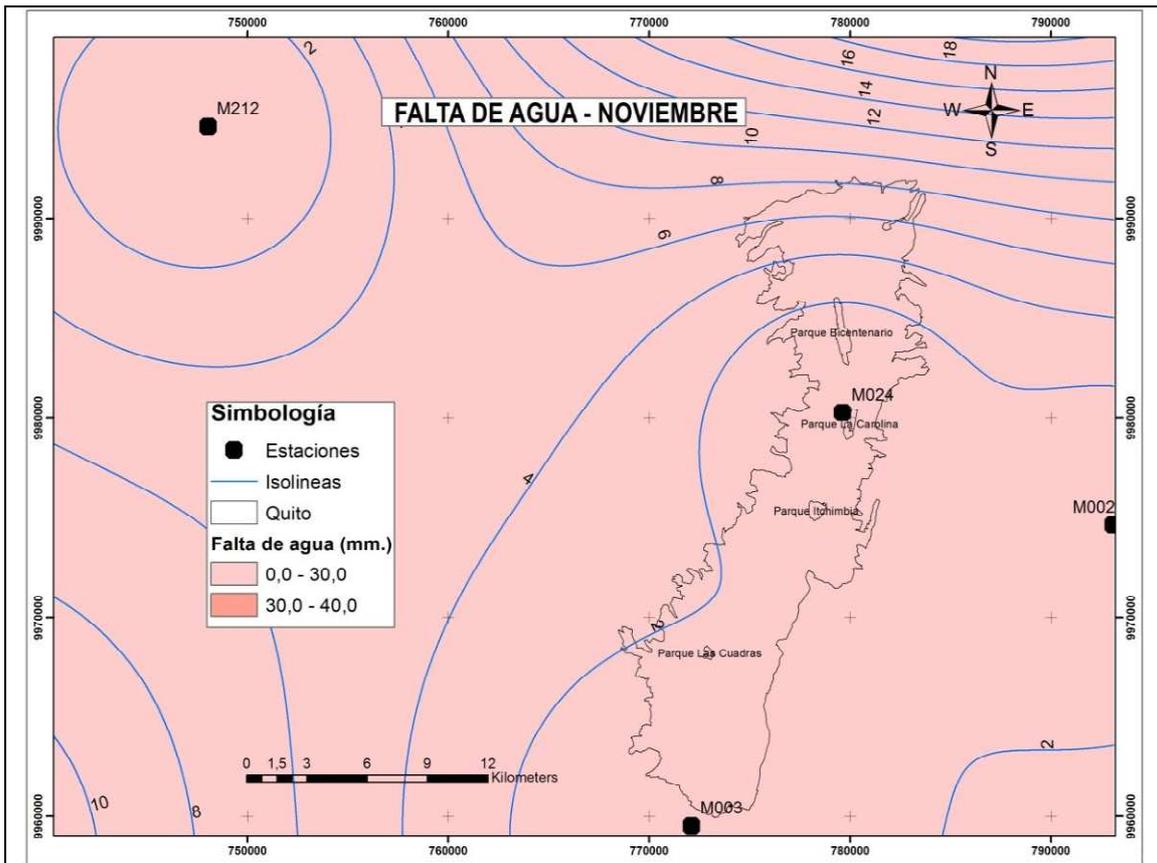


Figura 179 . Falta de agua en la ciudad para los meses de noviembre. Adaptado del INAMHI.

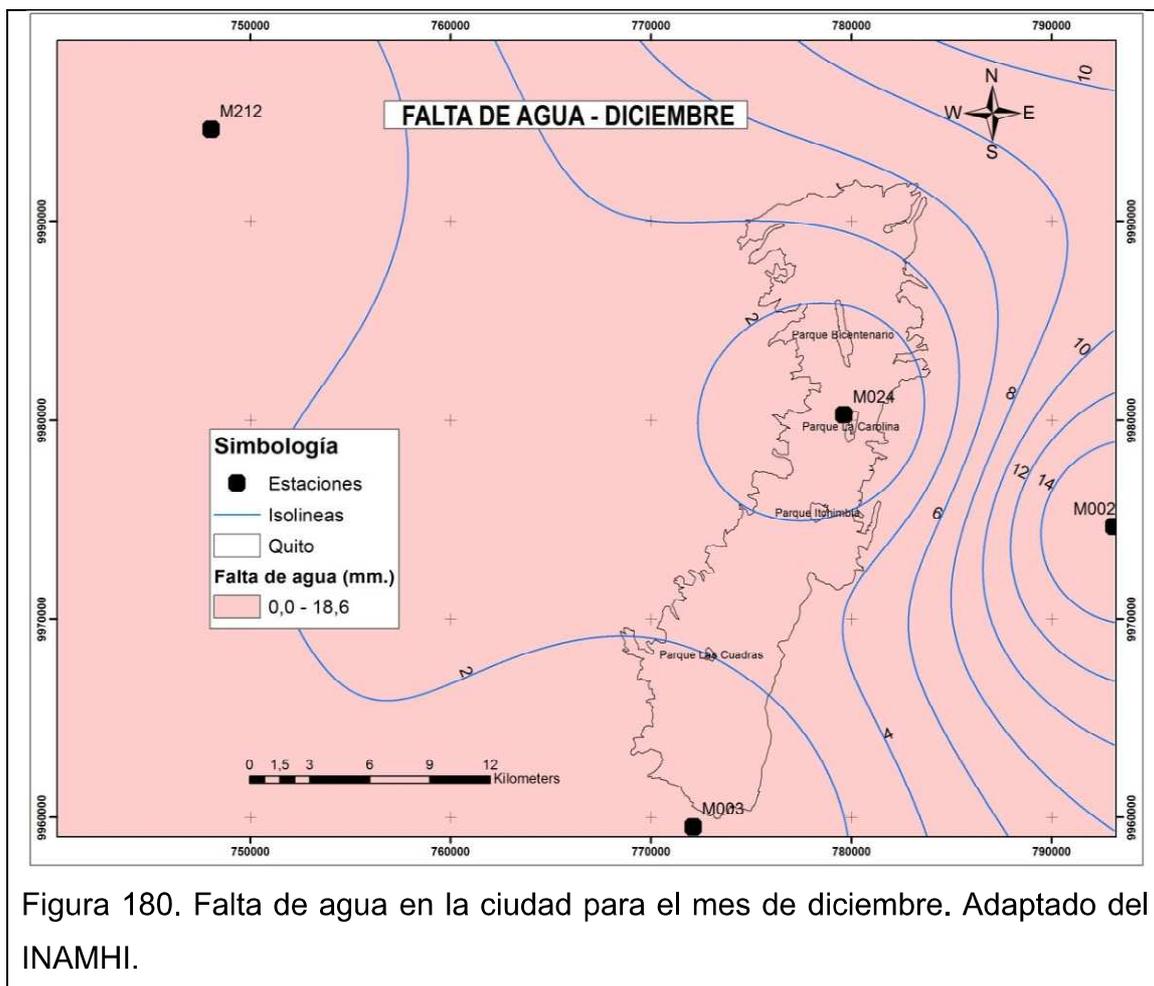


Figura 180. Falta de agua en la ciudad para el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.

2.4.5. Exceso

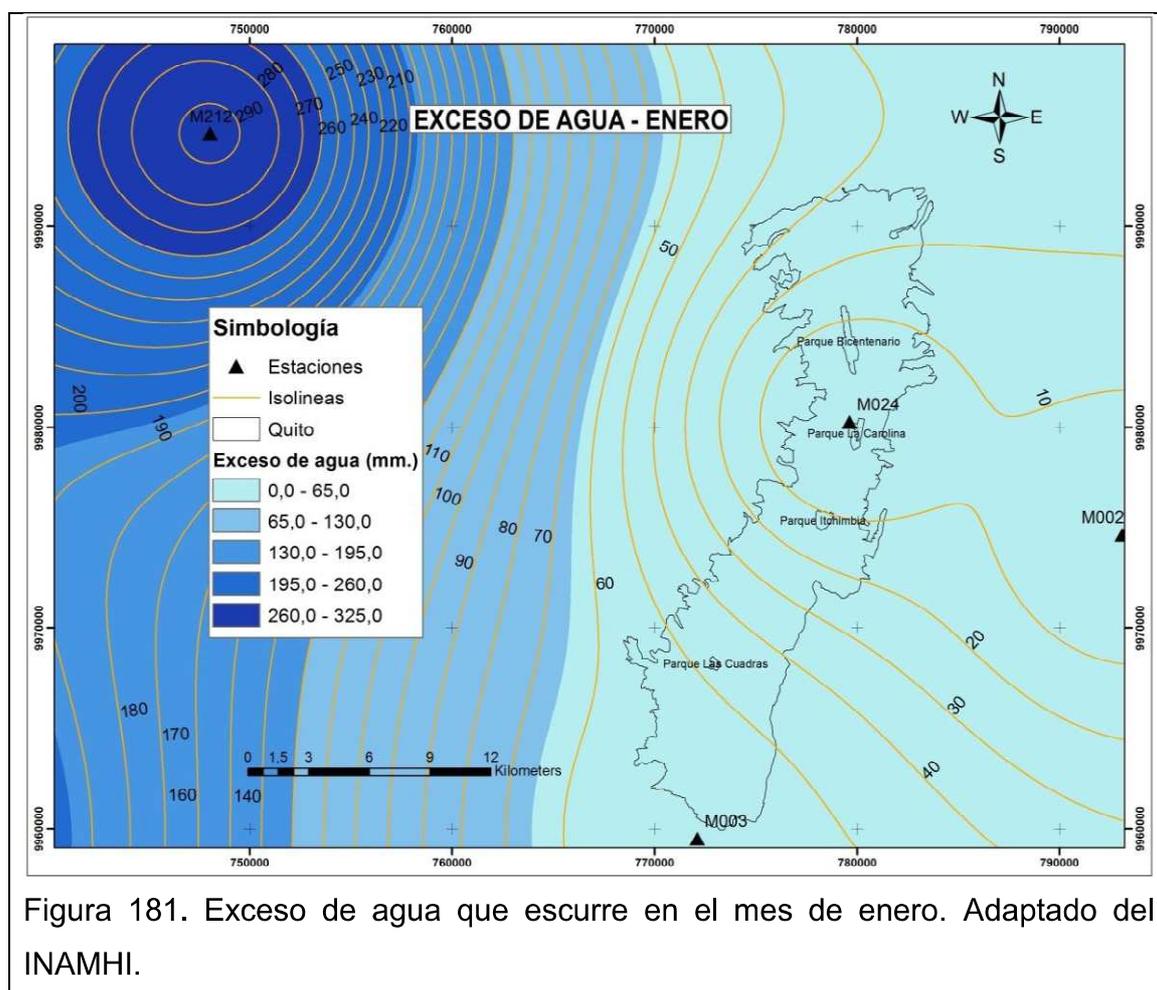
El volumen de agua en exceso es importante definir ya que a partir de este dato podríamos estimar cuánta agua obtendríamos luego de su escurriendo en los sistemas de cultivo.

Enero

Las precipitaciones en este mes y las ocurridas los meses anteriores, luego de cumplir las necesidades hídricas (evapotranspiración) y cubrir la reserva máxima se escurren hacia capas más profundas (nivel freático) y a los ríos. La zona sur de

la ciudad escurre alrededor de 55 mm y para la zona centro - norte el valor es de 0 mm. Debido a la falta de estaciones en la zona norte de la ciudad, la figura 182 muestra un aumento pero si analizamos los valores de precipitación en la ciudad podríamos suponer que los valores se mantienen en 0 mm.

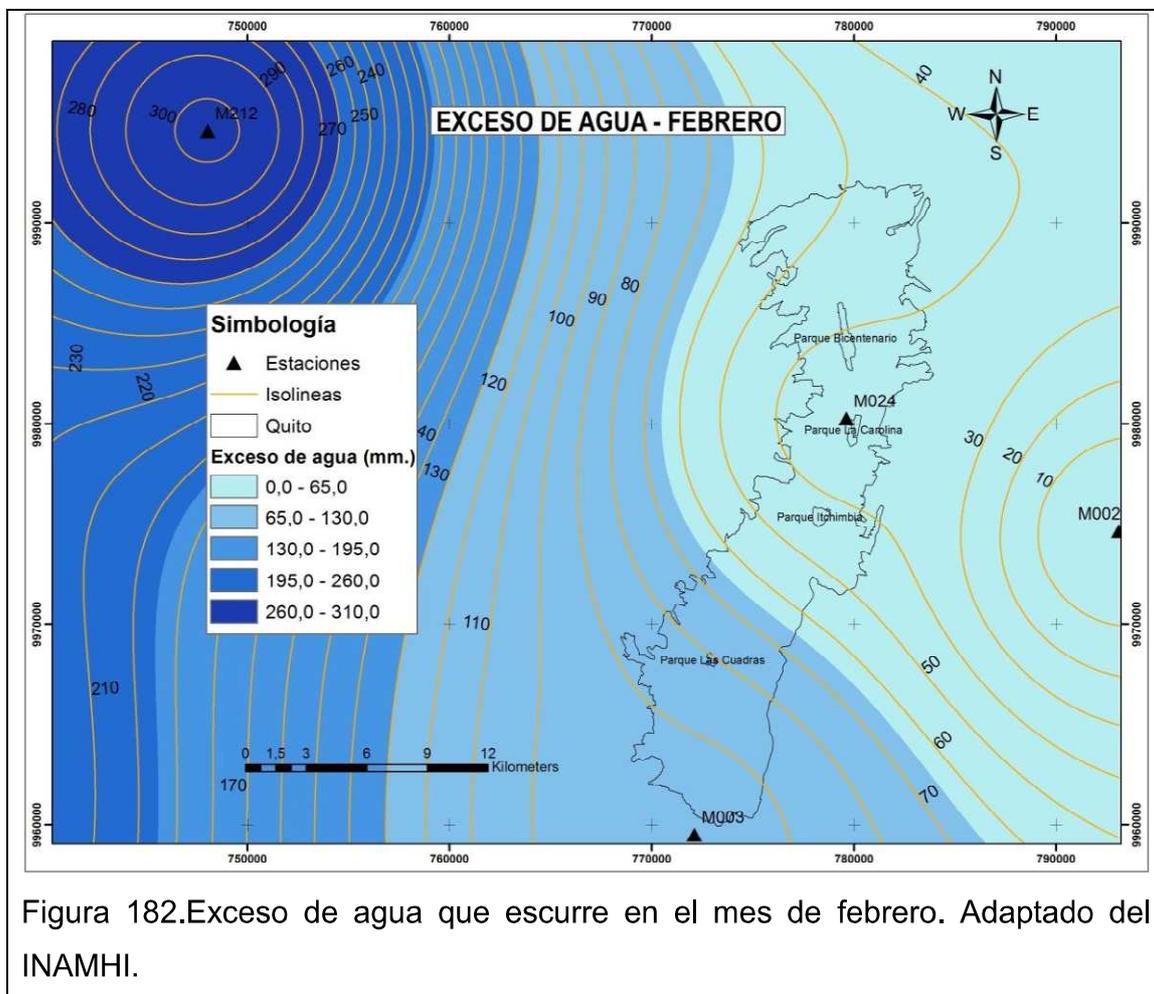
Rango: 0 - 55 mm.



Febrero

Su valor se incrementa en la zona sur de la ciudad aproximadamente son 95 mm, mientras que para la zona norte va entre los 35 - 40 mm.

Rango: 35 - 95 mm.



Marzo, abril

Son los meses con mayor precipitación del año y su comportamiento es similar. Se escurren aproximadamente desde 130 hasta 140 mm en el sur, en la zona céntrica alrededor de los 90 mm y para el norte desciende a los 80 y 90 mm respectivamente (figura 184 y 185).

Rango: 80 - 140 mm.

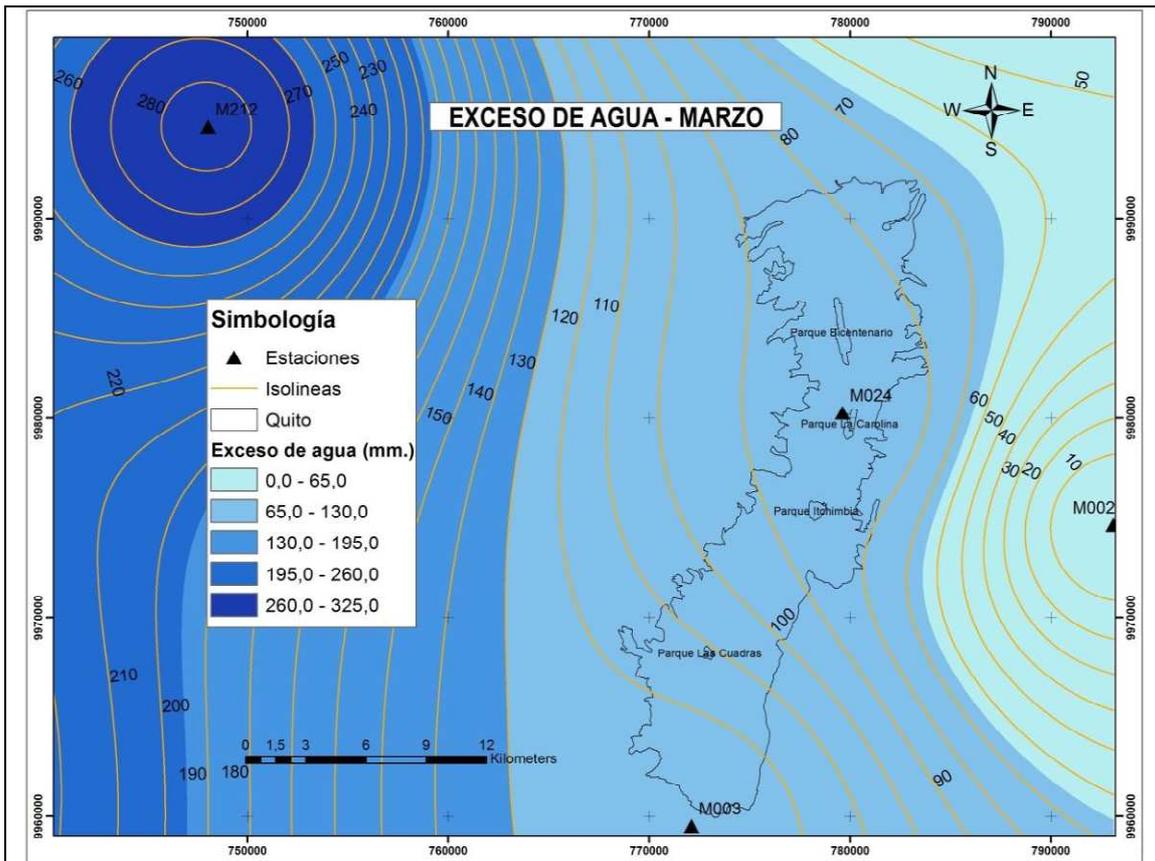


Figura 183. Exceso de agua que escurre en el mes de febrero. Adaptado del INAMHI.

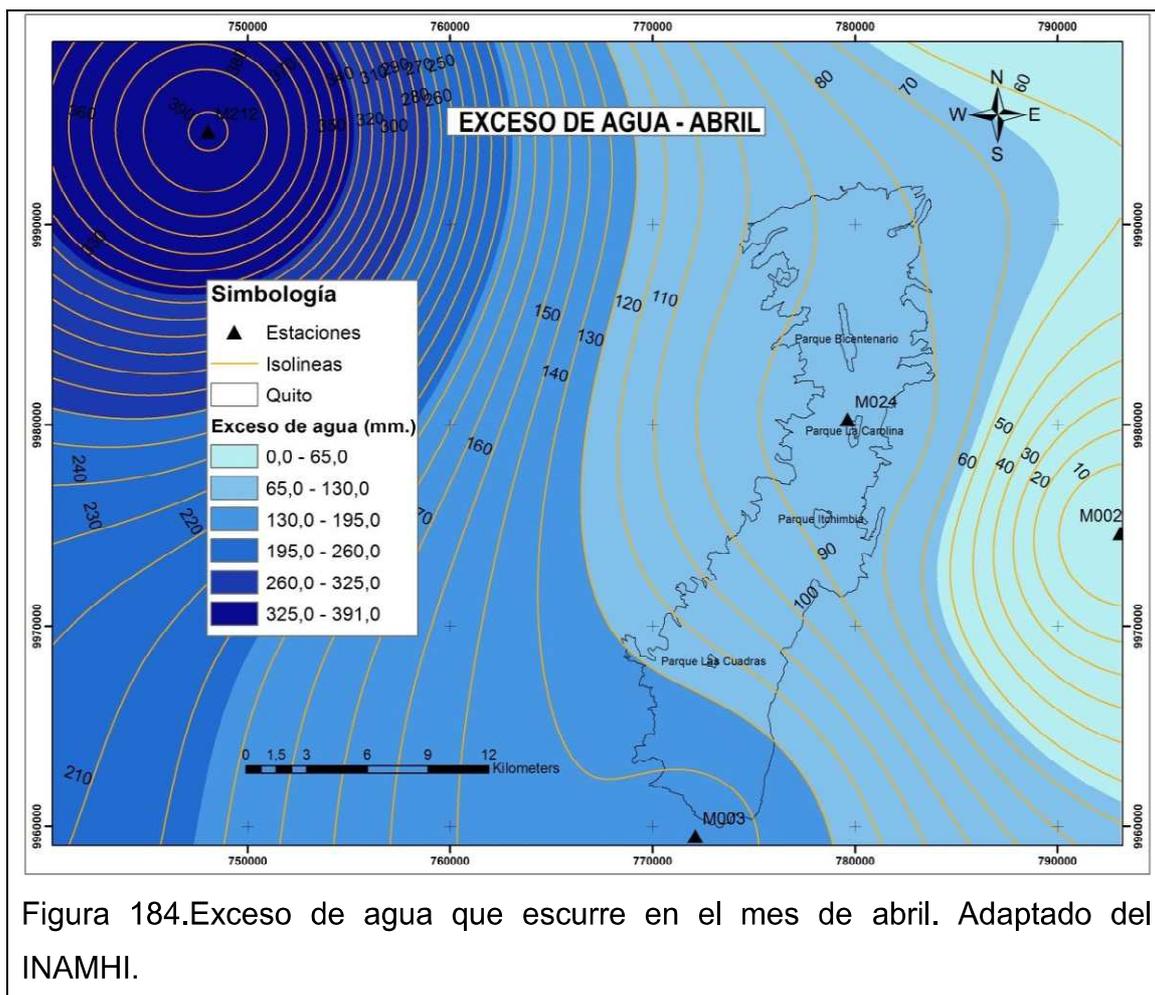
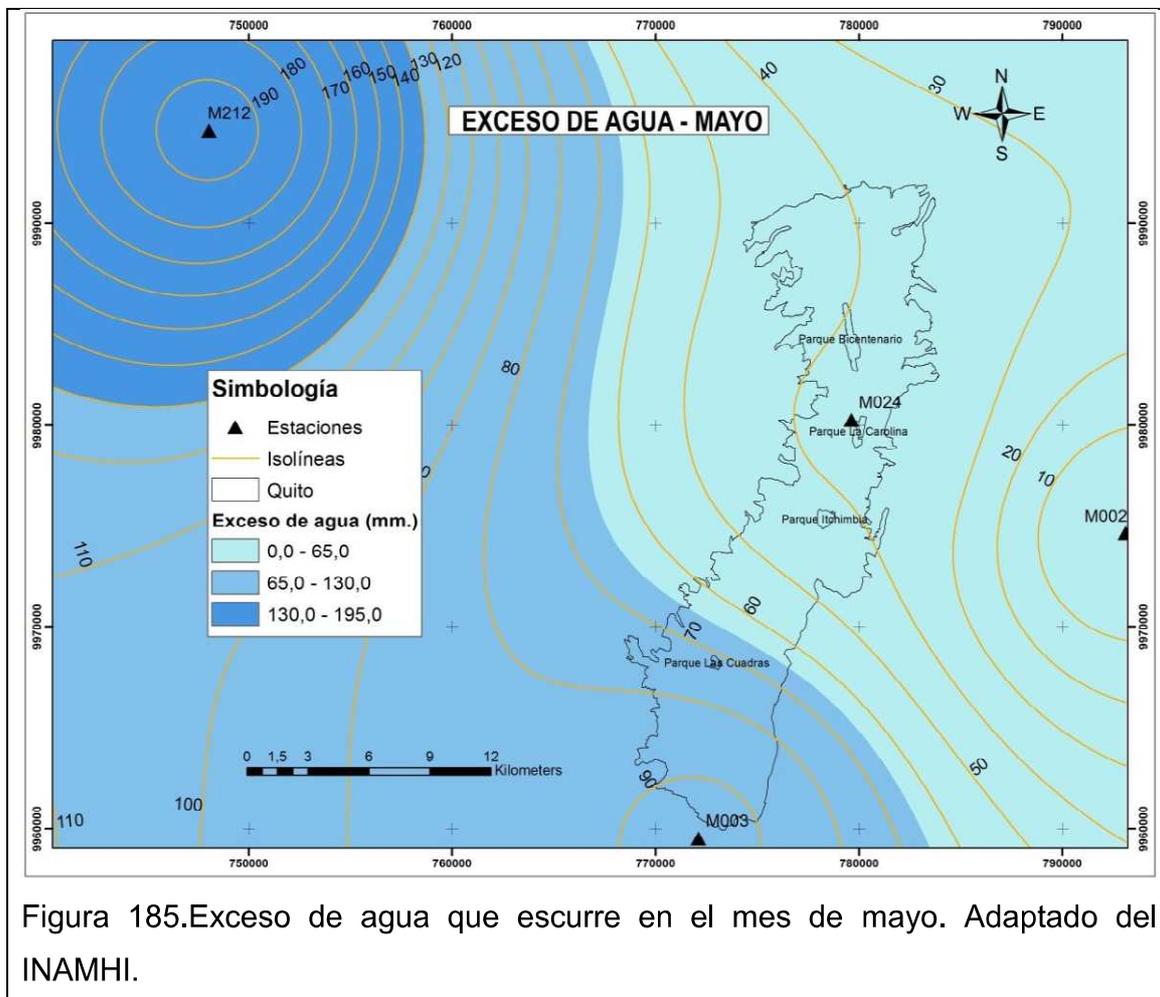


Figura 184. Exceso de agua que escurre en el mes de abril. Adaptado del INAMHI.

Mayo

El sector norte de la ciudad es el que posee menos excedentes, podemos identificar según la figura (186) que alcanza los 35 mm. Hacia la zona centro - sur se estima que son 60 mm. y en el sur 90 mm.

Rango: 35 - 90 mm.



Junio, julio, agosto, septiembre y octubre

En la época seca de la región es poco probable que existan excedentes, al inicio en el mes de junio aún puede exceder poca cantidad de agua, pero en pleno desarrollo de la época (julio, agosto) es nula, también en el mes de transición (septiembre) y para el inicio de la época lluviosa aún no se estima que existan

excedentes debido a que el suelo aún está guardando reservas y aun no alcanza su nivel máximo.

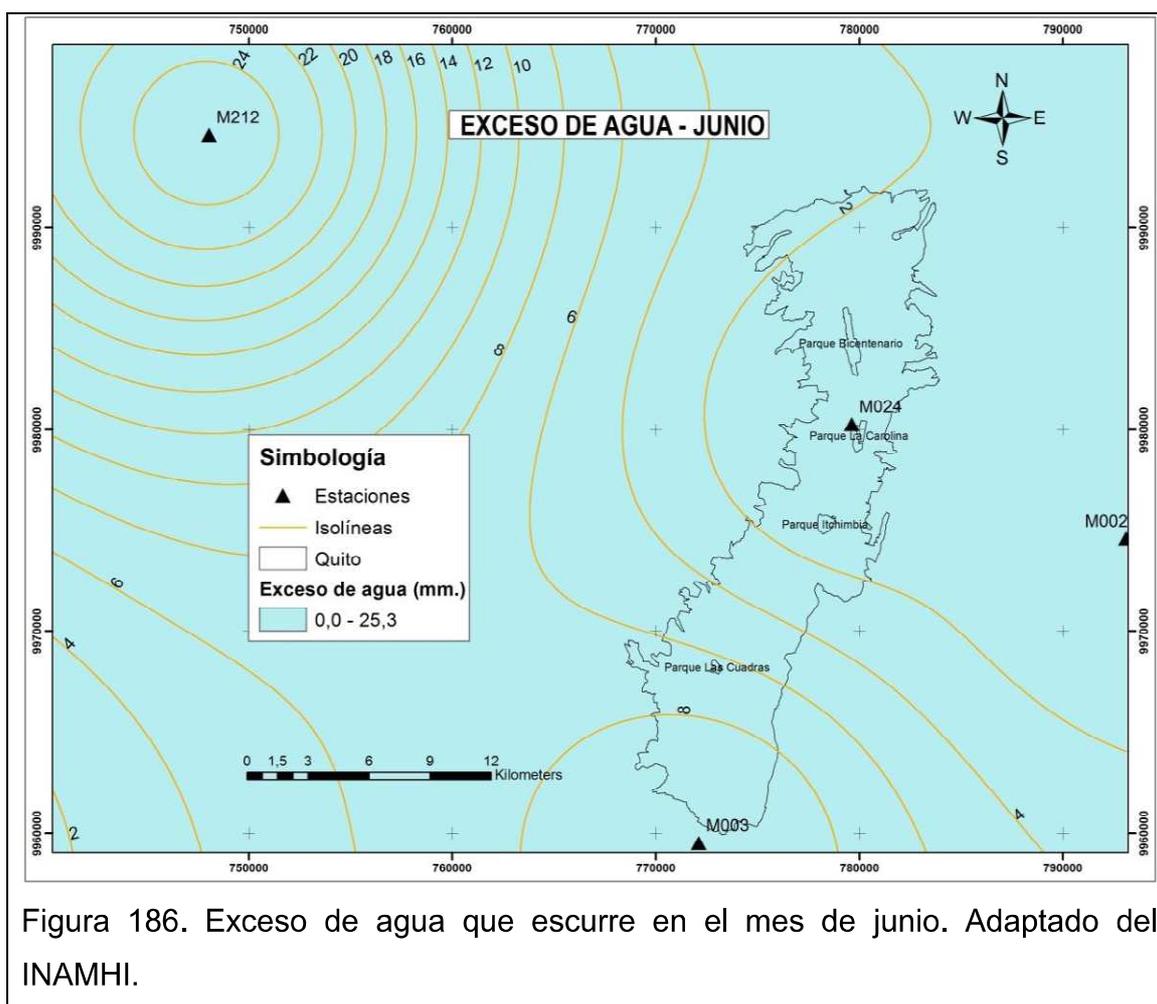


Figura 186. Exceso de agua que escurre en el mes de junio. Adaptado del INAMHI.

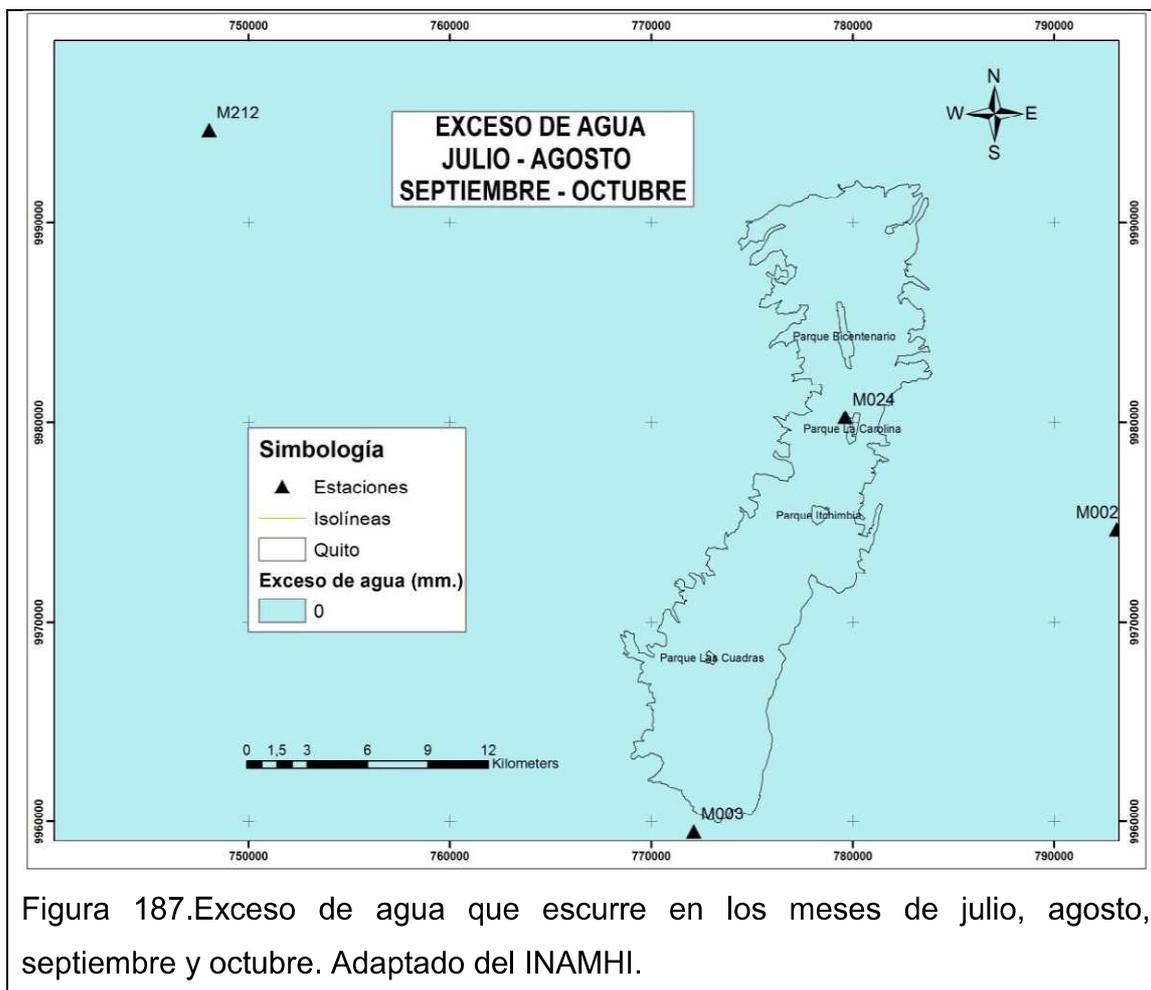


Figura 187. Exceso de agua que escurre en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Adaptado del INAMHI.

Noviembre y diciembre

Para los dos últimos meses del año, el excedente en la zona norte de la ciudad se mantiene en valores próximos a cero, a partir del centro de la ciudad hasta el sur las condiciones aumentan hasta llegar a valores cercanos a los 80 mm.

Rango: 0 - 80 mm.

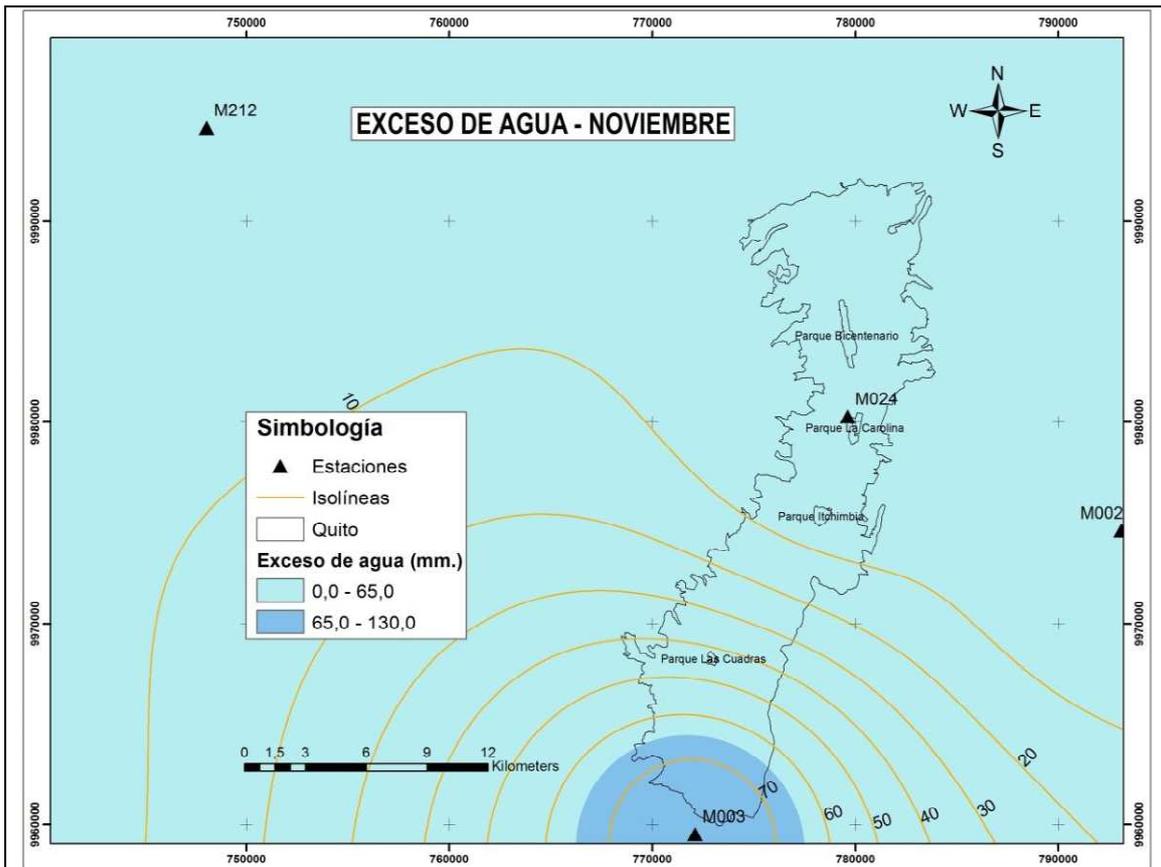


Figura 188. Exceso de agua que escurre en el mes de noviembre. Adaptado del INAMHI.

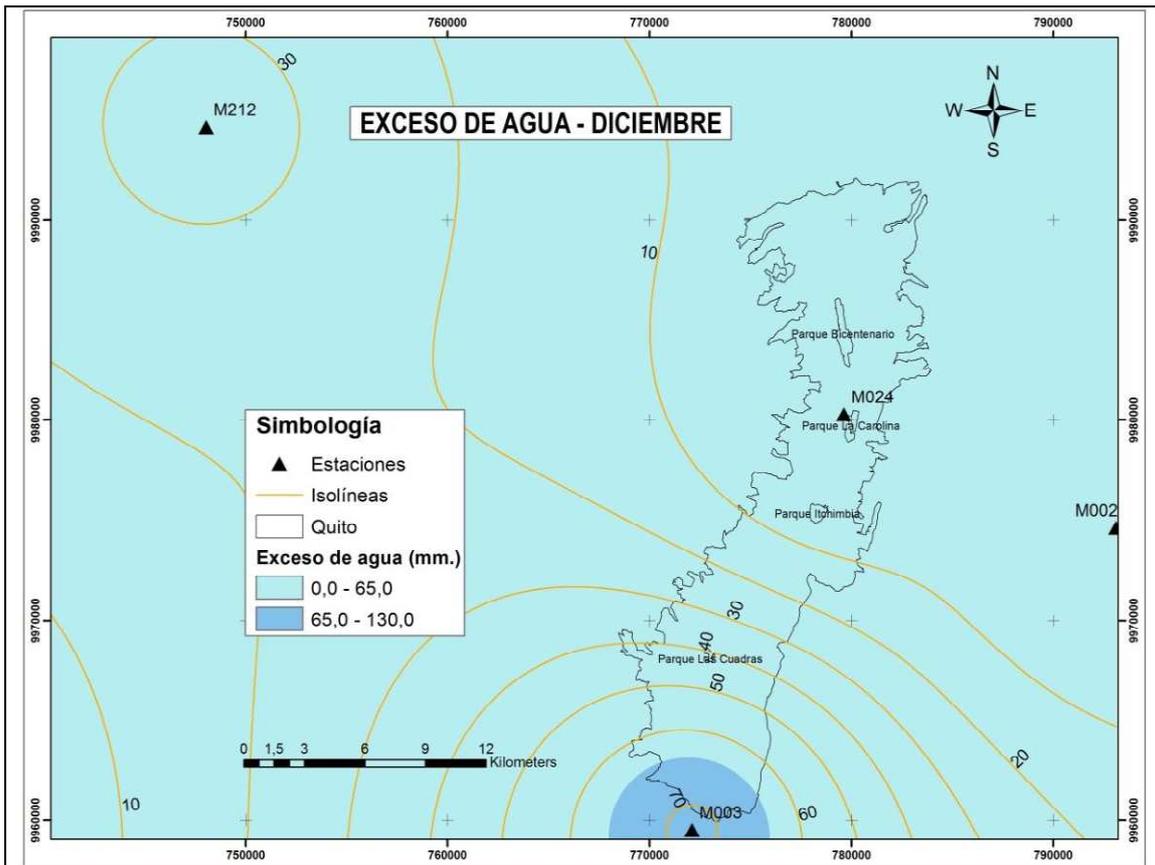


Figura 189. Exceso de agua que escurre en el mes de diciembre. Adaptado del INAMHI.

2.5. Calidad de agua para riego en la ciudad de Quito

2.5.1. Muestreo

En el muestreo se determinó analizar 1 evento para la zona central de la ciudad (San Juan - A1), y varios eventos en el periodo de tiempo (23 noviembre - 23 diciembre) para los muestreos (H1 - H3). Si bien no es una campaña minuciosa de recolección de muestras, es un inicio para generar un análisis preliminar a partir de un conocimiento básico.

2.5.2. Parámetros de medición

Para determinar los parámetros a medir se consideró lo estipulado en el inciso 1.6:

- Contaminación de aguas lluvias.
- Normas de calidad de agua (TULAS).
- Guías de calidad de aguas para riego.

2.5.3. Protocolo de recolección.

2.5.3.1. Muestra simple puntual

Según la Organización Mundial de Meteorología las muestras pueden ser recogidas el mismo día luego de ocurrida la precipitación o al día siguiente. Para este caso la recolección y envasado de la muestra fue realizado el mismo día e inmediatamente llevada al laboratorio.

A continuación se detalla el protocolo que se empleó para manejar, preservar y analizar las muestras recolectadas, basado en el documento técnico elaborado por Guzmán y Narváez (2010).

2.5.3.2. Muestra compuesta puntual

Se recolectó la cantidad de agua lluvia que precipitó en cada uno de los puntos seleccionados, la recolección fue realizada desde el 23 de octubre hasta el 23 de noviembre del año 2013 y por cuestiones económicas solo se pudieron analizar ciertos parámetros de calidad: H1 (Jimenez, 2013), H2 (Herdoiza, 2013), y H3 (Leiva, 2013).

2.5.3.3. Recipientes

Los recipientes empleados fueron de plástico, de vidrio transparente para la recolección de la muestra (figura 191) y de color ámbar para almacenar (figura 192). Los recipientes para el almacenamiento fueron entregados por el laboratorio donde fueron realizados los análisis - Centro de Servicios Ambientales y Químicos (CESAQ - PUCE).





Figura 191. Envases empleados para almacenar la muestra de agua lluvia.
Fuente: (CESAQ - PUCE, 2013)

2.5.3.4. Identificación de la muestra

Se utilizaron etiquetas autoadhesivas de color anaranjado, en la cual se registró el código de la muestra, fecha de muestreo, nombre del responsable.

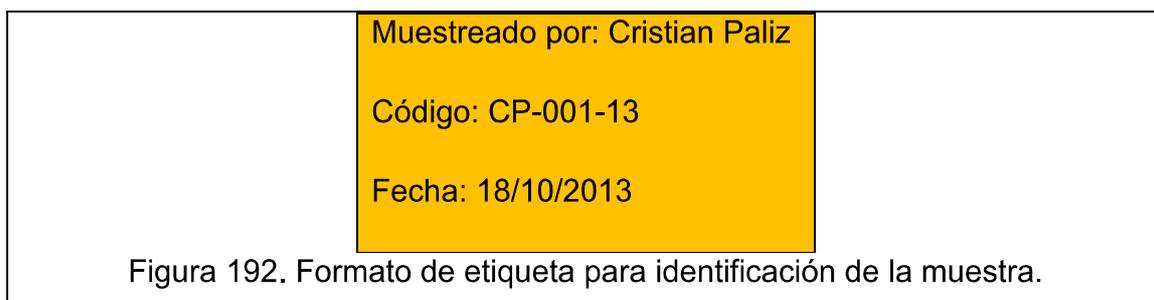


Figura 192. Formato de etiqueta para identificación de la muestra.

Actividades en el campo

Una vez terminada la precipitación se llenaron los envases (figura 192) y se etiqueto cada frasco. Para manipular la muestra el autor utilizó guantes de látex.

Transporte de muestras

Debido a que la muestra de la precipitación fue tomada en horas de la tarde e inmediatamente llevada al laboratorio (aproximadamente 30 minutos), no se consideró utilizar ningún tipo de preservante o refrigerante.

2.5.3.5. Tipo de muestra

La muestra recolectada fue simple y puntual.

2.5.4. Parámetros de medición y resultados

Para determinar los parámetros a medir se consideró lo estipulado en el inciso 1.6. Sin embargo, debido a que son muchos los elementos y parámetros que se enuncian en ese inciso, se realizó una selección en base a consideraciones técnicas agrícolas, de contaminación atmosférica y de la normativa nacional vigente para este aspecto, cabe señalar fue otra condicionante en la selección de los parámetros.

Tabla 30. Parámetros analizados de la muestra puntual simple de agua (A1).

AA	Parámetro	Método Analítico	Unidades	Resultado
*	Calcio	SM 3111 B	mg/L	3.7
1	Conductividad Eléctrica	CP-PEE-A033	dS/m	0.0194
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	CP-PEE-A019	mg/L	14
1	Demanda Química de Oxígeno	CP-PEE-A020	mg/L	35
1	Dureza Total	CP-PEE-A025	mgCaCO ₃ /L	< 4.0
1	Fosfatos	CP-PEE-A070	mg/L	1.0
1	Hierro	CP-PEE-A010	mg/L	<0.25
1	Manganeso	CP-PEE-A010	mg/L	<0.1
1	Magnesio	CP-PEE-A010	mg/L	<0.50
1	Nitratos	CP-PEE-A070	mg/L	1.7

Continuación de la tabla 30.

1	Nitrógeno Amoniacal	CP-PEE-A029	mg/L	0.6
1	Oxígeno Disuelto	SM 4500 - O G	mg/L	6.3
1	pH	CP-PEE-A042	Unid pH	5.5
1	Plomo	CP-PEE-A010	mg/L	<0.3
*	Potasio	SM 3111 B	mg/L	0.6
1	Sólidos Disueltos Totales	CP-PEE-A060	mg/L	<100
1	Sólidos Suspendidos	CP-PEE-A062	mg/L	<50
*	Sodio	SM 3111 B	mg/L	4.2
*	Sulfatos	CP-PEE-A070	mg/L	2.0
**	Cloruros	-	mg/L	1 - 3
1	Hidrocarburos Totales de Petróleo	CP-PEE-A072	mg/L	1.5
1	Zinc	CP-PEE-A010	mg/L	0.07
*	Molibdeno	SM 3120 B	mg/L	<0.10

Nota: AA es la acreditación que posee el laboratorio para el parámetro. (1) OAE LE2 C 04-001. (*) No están incluidos en el alcance de la acreditación OAE LE2 C 04-001 (**) Valor obtenido a partir de las normas europeas para el agua lluvia (lesjovelanos, sf). Adaptado: de CESAQ – PUCE (2013).

2.5.5. Análisis de los parámetros

En base a lo expuesto en el marco teórico, en primer lugar se contrastaron los valores de los parámetros obtenidos en la muestra de agua con las especificaciones técnicas determinadas por el TULAS. En segundo lugar se realizaron los cálculos para comparar los resultados con las tablas de calidad de agua. A continuación se analizó en base a valores máximos de concentración que puede llegar a tener el agua potable. Finalmente de los valores obtenidos y que estén fuera de los límites permisibles o aceptables se realizaron observaciones en cuanto a su influencia en el desarrollo del cultivo.

Tabla 31. Parámetros analizados en la muestra (A1) contrastados con el TULAS (Uso agrícola).

AA	Parámetro	Método Analítico	Unidades	Resultado	Límite permisible (TULAS)
1	Hierro	CP-PEE-A010	mg/L	<0.25	5
1	Manganeso	CP-PEE-A010	mg/L	<0.1	0.2
1	pH	CP-PEE-A042	Unid pH	5.5	6 - 9
1	Plomo	CP-PEE-A010	mg/L	<0.3	0.05
1	Sólidos Disueltos Totales	CP-PEE-A060	mg/L	<100	3000
1	Zinc	CP-PEE-A010	mg/L	0.07	2
1	Molibdeno	SM 3120 B	mg/L	<0.10	0.0106

Nota: Los valores en azul son aquellos que se encuentran dentro de los límites permisibles, mientras que los valores en rojo son aquellos que están fuera de los límites. Adaptado del TULAS.

Tabla 32. Parámetros analizados en las muestras (H1, H2 y H3), contrastados con el TULAS (Uso agrícola).

Código	Zona	Sector	pH	Conductividad (ds/m)	Turbiedad (NTU)	Plomo (mg/l)	Cobre (mg/l)
H1	Sur	Santa Rita	7	0,01	48,6	1,02	0,4
H2	Centro	Monjas	6,8	0,03	14,2	0,4	0,1
H3	Norte	El Inca	7,7	0,11	1,58	0,41	0,1

Nota: Los valores en azul son aquellos que se encuentran dentro de los límites permisibles, mientras que los valores en rojo son aquellos que están fuera de los límites.

A continuación se denotarán aquellos parámetros que influyan en el crecimiento del cultivo, esto en base lo estipulado en el inciso 1.6.3.

Tabla 33. Parámetros analizados del agua potable contrastados con el TULAS (Uso agrícola).

Parámetro	Símbolo	Unidad	Resultado	Límite Permissible (TULAS)
Arsénico	As	mg/l	0	0.2
Bario	Ba	mg/l	0	1.0
Boro	B	mg/l	0.5	5
Cadmio	Cd	mg/l	0	0.05
Cianuros	Cn(-)	mg/l	0	0.2
Cobre	Cu	mg/l	0	0.5
Cromo	Cr	mg/l	0	1.0
Manganeso	Mn	mg/l	0	0.5
Mercurio	Hg	mg/l	0	0.01
Níquel	Ni	mg/l	0	0.5
Nitratos	NO3	mg/l	5	10
Nitritos	NO2	mg/l	0	1.0
Plomo	Pb	mg/l	0	0.05
Selenio	Se	mg/l	0	0.01

Nota: Los valores en azul son aquellos que se encuentran dentro de los límites deseables, mientras que los valores en rojo son aquellos que están fuera de los límites. Elaboración: Autor. Adaptado de: EPMMAPS (2013) y TULAS (2013).

Continuando con el análisis se realizaron dos cálculos, el primero para transformar ciertos valores de los resultados de la muestra y así poder contrastar

con los límites recomendables y en segundo lugar el valor de la Relación adsorción de sodio.

$$cmol = \frac{10(1 \text{ mol } Z \times \text{Masa } Z)}{\text{Masa molar } Z} \quad (\text{Ecuación 55})$$

Conversión de masa de elemento a centimoles. Adaptado de: (Chang & College, 2002)

Donde

cmol = valor del elemento o compuesto en centimoles (moles/100).

Z = elemento o compuesto.

Masa Z = es la masa del compuesto o elemento (mg).

Masa molar Z = masa atómica o molecular (g)

Tabla 34. Resultados de la conversión de mg a cmol (Agua lluvia).

Elemento	Símbolo	Masa molar (g.)	Masa (mg/l)	Cmol/l
Calcio	Ca	40,08	3,7	0,92
Magnesio	Mg	24,31	0,5	0,21
Sodio	Na	22,9	4,2	1,83
Potasio	K	39,1	0,6	0,15
Sulfatos	SO ₄ (-2)	96,07	2	0,21
Cloruros	Cl (-)	35,45	2	0,56
Nitratos	NO ₃ (-)	62,01	1,7	0,27
*Nitratos	NO ₃ (-)	62,01	5	0,81

*El valor de nitratos obtenido de (EPMMAPS, 2013).

Para calcular la relación de adsorción de sodio se emplea la siguiente ecuación (García, 2012):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} = 2.44 (cmol/l)^{1/2} (\text{Ecuación 56})$$

Donde,

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} se expresan en $cmol/l$

Con todos los valores determinados, se contrasta con los valores referenciales para determinar la calidad del agua. Cabe recalcar que no todos los parámetros que estipula la tabla 11.

Tabla 35. Calidad del agua lluvia comparada con los parámetros de calidad de agua de riego.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango Usual	Resultado
Salinidad				
Conductividad eléctrica	CE	dS/m	0 - 3	0,0194
Total sólidos disueltos	TSD	mg/l	0 - 2000	<100
Cationes y aniones				
Calcio	Ca(+2)	cmol/l	0 - 20	0,92
Magnesio	Mg(+2)	cmol/l	0 - 5	0,21
Sodio	Na(+)	cmol/l	0 - 40	1,83
Potasio	K(+)	cmol/l	0 - 0,2	0,15
Sulfatos	SO ₄ (-2)	cmol/l	0 - 20	0,21
Cloruros	Cl (-)	cmol/l	0 - 30	0,56
Nitratos	NO ₃ (-)	cmol/l	0 - 5	0,27
*Nitratos	NO ₃ (-)	cmol/l	0 - 5	0,81
Misceláneos				
Reacción	pH		6 - 8,5	5,5
Relación adsorción de sodio	RAS	(cmol/l)- 1/2	0 - 15	2,44

Nota: Los valores en azul son aquellos que se encuentran dentro de los límites deseables, mientras que los valores en rojo son aquellos que están fuera de los límites. Adaptado de García (2012)

Tabla 36. Criterios para evaluar la calidad de agua de riego (Adaptación hecha por Ayers y Wescott)

Problema Potencial	Unidades	Grado de Restricción			Resultado
		Ninguno	Ligero - Moderado	Severo	
Salinidad (1):					
CE	dS/m	<0,7	0,7 - 3	>3,0	0,0194
SDT	mg/l	<450	450 - 2000	>2000	<100
Infiltración (2):					
RAS= 0 - 3 y CE		>0,7	0,7 - 0,2	<0,2	RAS = 2,44 CE = 0,0194
RAS= 3 - 6 y CE		>1,2	1,2 - 0,3	<0,3	
RAS= 6 - 12 y CE		>1,90	1,9 - 0,5	<0,5	
RAS= 12 - 20 y CE		>2,9	2,9 - 1,3	<1,3	
RAS= 20 - 40 y CE		>5	5 - 2,9	<2,9	
Toxicidad por ión específico					
Sodio (Na⁺)(3):					
Irrigación superficial	RAS	< 3	3 - 9	>9	2,44
Cloruros (Cl⁻) (4)					
Riego superficial	cmol/l	< 3	4 - 10	>10	0,56
Elementos traza					
Nitratos (N-NO ₃) (6)	mg/l	<5	5 - 30	>10	0,27
*Nitratos (N-NO ₃)	mg/l	<5	5 - 30	>10	0,27
pH		6,5 - 8,4			5,5

Nota: * Obtenido de la norma técnica INEN para agua potable. Los valores en azul son aquellos que se encuentran dentro de los límites permisibles, el verde ligero a moderado y mientras que los valores en rojo son aquellos que están fuera de los límites y de los cuales se analizarán. Adaptado de García (2012)

Potencial de Hidrógeno (pH)

La muestra evidenció la presencia de lluvia ácida en la precipitación, si consideramos que en la muestra también se comprobó un valor elevado de sulfatos y un valor medio de nitratos, se puede deducir que la contaminación atmosférica debido a la quema de combustibles fósiles está presente en la ciudad y provoca lluvias ácidas (Crosara, 2003).

La posibilidad de que existan lluvias ácidas dentro de la ciudad implica que los cultivos deben estar protegidos, ya que afectaría su desarrollo y acidificaría el suelo. Los daños que puede provocar en los cultivos pueden ser los siguientes (Rubin, 2002):

- Daño fisiológico en las células y tejidos de la planta. Algunas plantas son ms susceptibles que otras.
- Cambio geoquímico en el suelo y en el agua del suelo, lo que impediría desarrollo afectado por la absorción de nutrientes por las raíces, además lixivía los nutrientes del suelo.

Un valor anormal como en este caso indica que se debe realizar un muestre más amplio y detallado.

Medidas

- Corregir mediante el constante monitoreo del pH en el suelo y la adición de carbonato de calcio (CaCO_3) para contrastar su valor.

Plomo

La presencia de este metal pesado en la precipitación sugiere que aun los combustibles presentan ciertos niveles de plomo, también puede provenir de la pintura descascarada en edificios antiguos. Por lo general las plantas no absorben mucho plomo, pero este se puede impregnar en ellas a través de polvo y si no se realiza un cuidadoso lavado, se corre el riesgo de ingerirlo. Los problemas de salud al ingerirlo son más peligrosos para los niños (6 meses - 6 años), en adultos los problemas se relacionan con el corazón, riñón, sangre, órganos reproductivos y sistema nervioso (Angima & Sullivan, 2008).

Medidas:

- Remover el suelo que presumimos que puede tener alto contenido de plomo.
- Aplicar materia orgánica en los sustratos, ya que estos atrapan y lo hacen menos disponible en el suelo y el polvo.
- Evitar cultivar en calles con mucho tráfico y en edificios viejos.

Se recomienda ampliar el espectro de estudio con el fin determinar qué zonas de la ciudad son las que presentan mayores concentraciones.

Molibdeno

Este parámetro sobrepasa los límites permisibles según la normativa. Se ha evidenciado toxicidad en animales rumiantes que consumen plantas regadas con agua que posee altos niveles de molibdeno (García, 2012), se recomienda no aplicar esta agua para este tipo de cultivos (forrajeros). Aun no se han evidencia problemas de salud en humanos debido a la ingestión de plantas que hayan sido regadas con altas dosis de molibdeno, sin embargo hay que ser cautos. (Gobierno de Chile , sf)

Sulfatos

Los sulfatos son altamente solubles en agua. Una sus principales fuentes es la atmosfera, debido a que por esta vía se transporta el sulfuro desde varias fuentes. Estas fuentes pueden ser volcanes, descomposición y combustión de la materia orgánica y sales del océano; la industria metalúrgica, papel, textil pueden aportar sulfatos al ambiente. Como otros aniones pueden llegar a concentraciones que afectan a los cultivos, está relacionado con la salinidad del agua de riego, depende en gran medida de la capacidad de tolerancia que puedan tener las diferentes especies (Gobierno de Chile, sf).

Medidas:

- Seleccionar especies de plantas tolerantes, suelos permeables y métodos de manejo adecuados.

Infiltración

La infiltración es el proceso que se genera cuando el agua entra en el suelo, este proceso se lo puede medir simplemente, determinando cuán rápido el agua atraviesa el suelo (mm/h), este valor o tasa depende de las condiciones de la textura del suelo (arena, limo, arcilla) y la estructura del suelo. Es una reserva que almacena agua para el crecimiento de las plantas. El agua en el suelo es reemplazada por la infiltración. Una tasa de infiltración puede ser limitada por su pobre manejo. Bajo estas condiciones el agua realmente no entra al suelo y se escurre por la superficie o se empoza en la superficie, donde se evapora.

Los factores que afectan la infiltración son: el tiempo de permanencia del agua en la superficie; la tasa de infiltración, es alta en suelos secos, es baja cuando el agua se mueve a través de capas que restringen su movimiento, también se genera un infiltración baja cuando el agua se aproxima a temperaturas de congelamiento; el tipo de vegetación, las raíces de las plantas cubren una buena porción de un suelo y si la planta posee una buena biomasa de raíces la

infiltración aumenta y si es demasiado denso el sistema radicular también puede reducir su tasa; las propiedades del suelo también influyen en el movimiento vertical del agua (Natural Resources Conservation Service, 2001).

Medidas:

- Incrementar la cantidad de plantas que favorezcan con su sistema radicular al aumento de la tasa de infiltración.
- Evitar la compactación evitando plantar pasto y usar maquinaria cuando el suelo está húmedo.
- Añadir materia orgánica para incrementar la estabilidad de los agregados.
- Disminuir la formación de costras físicas en el suelo, manteniendo o mejorando la cubierta de las plantas para de esta manera reducir el impacto de las gotas de lluvia.

2.6. Preparación de los sustratos

De acuerdo a lo considerado en marco teórico y limitado por la oferta local de cada uno de los elementos que pueden conformar un sustrato se eligieron los componentes de la siguiente manera:

2.6.1. Suelo

Los tipos de suelo que pertenecen a las muestras de suelo que fueron tomadas de los puntos antes mencionados y luego clasificadas en base al Mapa General de Suelos (1986), siendo los molisoles el suelo utilizado para conformar el estudio.

Molisoles

Son suelos que contienen humus y una base rica en la zona superficial (epipedón mólico) con una base de saturación elevada ($\geq 50\%$ por acetato de amonio) para

1.8 m. de profundidad (Soil Survey Staff, 2010). La mayoría de los molisoles poseen una estructura fuerte o dura con contenido de carbón ($\geq 0.6\%$). Generalmente poseen una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su principal catión de intercambio presente es el calcio. La CIC en el perfil superior del se deriva del humus presente con un pH dependiente de la carga de humus y de los filosilicatos de arcilla.

Los molisoles tienen un significativo contenido de minerales resistentes a las condiciones climáticas en sus fracciones de limo y arena (Soil Survey Staff, 2010), los cuales proporcionan cationes básicos para prevenir la acidificación y desaturación del complejo de intercambio a través de la lixiviación (Durán, Morrás, Studdert, & Xiaobing, 2011).

2.6.2. Sustratos

Estabilización de los sustratos: A mediano plazo todos los sustratos utilizados presentan compuestos estables desde el punto de vista químico y poseen una configuración física del sustrato no variable a mediano plazo.

- Humus (Compost de lombriz) (Burés, 2001)
- Compost (Burés, 2001).
- Cascarilla de arroz (Tabla 13).
- Pomina (Roca Volcánica) (Tabla 13).
- Suelo (Molisol) (Gabioud, Wilson, & Sasal, 2011)

Mezcla de materiales: Los materiales fueron mezclados en distintas proporciones y se analizaron a cada uno de ellos mediante un experimento.

Tabla 37. Composición de los sustratos.

Tratamiento	Sustrato	Porcentaje	Volumen (lit.)
1 (testigo)	Suelo	100	36
2	Suelo	56	20
	Pomina	3	1
	Cascarilla de arroz	19	7
	Compost	11	4
	Humus	11	4
	Total	100	36
3	Suelo	33	12
	Pomina	17	6
	Cascarilla de arroz	17	6
	Compost	17	6
	Humus	17	6
	Total	100	36

Propiedades físicas y químicas consideradas:

Retención de agua:

- Suelo (Molisol): Estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del agua. Los afecta la falta de humedad suficiente y las inundaciones periódicas (Universidad Nacional del Nordeste , 1974)
- Compost: Mejora la retención de agua y es una protección frente a sequías (Alonso, sf).
- Compost de lombriz (Humus): Se estima que puede retener agua en una proporción aproximadamente 20 veces su peso
- Pomina (Roca volcánica): Es relativamente buena pero también es parcialmente no disponible para las raíces de las plantas (Tabla 13).

- Cascarilla de arroz: Baja a nula retención de agua (Tabla 13).

Aireación - Porosidad:

- Suelo (Molisol): Estructura granular o migajosa moderada y fuerte que facilita el movimiento del aire (Universidad Nacional del Nordeste , 1974).
- Compost: Influye para que el sustrato cuente con una adecuada estructura, mejorando las relaciones agua - aire y reduce la erosión ocasionada por el agua y el viento (Alonso, sf).
- Compost de lombriz (Humus): Mejora la aireación (Universidad y Tecnología, sf)
- Pomina (Roca Volcánica): Buena (Tabla 13)
- Cascarilla de arroz: Alta (Tabla 13)

Potencial de Hidrogeno:

- Suelo (Molisol): Poseen pH neutro a ligeramente ácido (Wilson, Sasal, & Caviglia, 2008) (Jaramillo, 2012)
- Compost: Los compost maduros tienen a estabilizarse en valores neutro o ligeramente básicos, en suelos ácidos actúa elevando el pH y así mejora la disponibilidad de nutrientes, mientras que en suelos básicos no provoca cambios apreciables aunque contribuye a mejorar el poder amortiguador. Valor aproximado: 7- 8 (Moreno & Moral, 2007)

- Compost de lombriz (Humus): El coloide orgánico presente en el humus es responsable de la mayor parte de la resistencia a los cambios de pH del suelo. Valor aproximado: 7 - 8 (Universidad y Tecnología, sf).
- Pomina (Roca Volcánica): Su estado es neutro. Valor aproximado: 7 (Tabla 13).
- Cascarilla de arroz: Ligeramente ácido. Valor aproximado: 5.2 (Tabla 13).

Capacidad de intercambio catiónico:

- Suelo (Molisol): Del 20% - 70% de la capacidad de intercambio catiónico es causada por sustancias húmicas coloidales (Silva, 2013)
- Compost: El aporte de la materia orgánica genera mayor capacidad de intercambio catiónico (Alonso, sf).
- Compost de lombriz (Humus): Esta dada por el ácido fúlvico y húmico afectando de manera positiva la disponibilidad del nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, cobre, hierro, manganeso y zinc (Alonso, sf).
- Pomina (Roca Volcánica): Posee una baja CIC (Pérez, 2011). Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes (InfoAgro, sf).
- Cascarilla de arroz: Presenta una CIC baja, lo cual en grandes proporciones puede traer consigo inmovilización del nitrógeno y afecta la disponibilidad de agua (Patrón & Pineda, 2010).

Corrección de la nutrición:

Compost y Compost de lombriz (Humus): La materia orgánica presente en estos dos sustratos contribuye al desarrollo de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Sirve como fuente de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), la parte biológica promueve la actividad de la micro flora y micro fauna y la física afecta directamente a la estructura del suelo (Silva, 2013).

2.7. Selección de las especies vegetales

Se determinó la selección en base a la disponibilidad del mercado local, y para la fecha prevista de inicio del experimento se contó con dos especies comestibles las cuales son diferentes en varios aspectos detallados en la tabla 38. Si bien una especie es más apta para este clima y sistema de cultivo, se consideró también emplear la otra para confirmar con lo mencionado en Para determinar el tipo de especies vegetales que son capaces de adaptarse y desarrollarse plenamente en las condiciones ambientales de las terrazas en Quito, se consideró las condiciones climáticas y las características del suelo, así como la profundidad de enraizamiento y el tiempo de cosecha.

Las especies vegetales seleccionadas además de las características antes mencionadas también fue determinante la disponibilidad de estas en los viveros locales, en el periodo inicial del experimento.

Tabla 38. Características de las especies vegetales seleccionadas.

Ají	Capsicum annum
Condiciones de clima y suelo	
Temperatura (°C)	16 – 24
Textura del suelo	Francos
Tipo de suelo	Sueltos, ricos en materia orgánica
Lluvias anuales (mm)	800 – 1000
Siembra	
Distancia (cm)	30 - 55
Profundidad de enraizamiento (cm)	50 - 100
Cosecha (días)	70 - 100
Lechuga	Latuca sativa L.
Condiciones de clima y suelo	
Temperatura (°C)	13 – 16
Textura del suelo	Con mucha materia orgánica
Tipo de suelo	Bien drenados
Siembra	
Distancia (cm)	20 - 25
Profundidad de enraizamiento (cm)	30 - 50
Cosecha (días)	60 - 70

Nota: Cuadro adaptado en base al anexo (8.2) y a la Guía Agrícola (Banco Nacional de Fomento , 1989)

Se puede observar en la tabla 38 que la lechuga presenta las características que más se asemejan a las que ofrece el cultivo en terrazas (clima, suelo y

contenedor). Mientras tanto las características del ají difieren a las ofrecidas por la unidad de cultivo y así esta especie solo cumple con el tipo y textura de suelo.

Se planteó emplear estas dos especies para el cultivo, sin embargo previo a conocer sus resultados se estima que la lechuga será la mejor que se adapte a las condiciones propuestas debido a sus condiciones de hábitat y desarrollo.

3. Capítulo III. Diseño del experimento y del cultivo.

3.1. Diseño del experimento

Se plantea la comparación de dos tipos de sustrato y un testigo, mediante el control activo en el experimento del índice de desarrollo (crecimiento) de las especies vegetales seleccionadas y de la precipitación en cada una de las zonas donde fueron implementadas las unidades (puntos) experimentales, lo que da lugar a un diseño en bloques completos al azar.

3.1.1. Unidad Experimental

Es el conjunto de tres tipos de sustrato en cada una de las zonas de bloque, que se fueron analizadas.

3.1.2. Tratamientos

Para conocer la composición de cada tratamiento por favor remitirse a la tabla 37.

- T1: Testigo
- T2: Sustrato 1
- T3: Sustrato 2

3.1.3. Bloques

Se eligió una de las variables que influyen en el crecimiento de las plantas y en el comportamiento del sustrato.

- Bloque: Zona de la ciudad - clima (zona climática).

3.1.4. Factor de interés

- Tipo de sustrato

3.1.5. Variable de respuesta

- Se expresa en porcentaje promedio de crecimiento por unidad tratamiento.

3.1.6. Hipótesis

$$H_0 : \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3} = \mu$$

$$H_A : \mu_i = \mu_j = \mu \text{ para algun } i \neq j = T1, T2, T3$$

También se la puede expresar como

$$H_0 : \tau_{T1} = \tau_{T2} = \tau_{T3} = \tau$$

$$H_A : \tau_i = \tau_j = \mu \text{ para algun } i \neq j = T1, T2, T3$$

3.1.7. Diseño de bloque completamente aleatorio

Tabla 39. Diseño de bloque aleatorio.

	Bloque I		
Tratamiento	Z1	Z2	Z3
T1	A=8,27	B=15,84	C=27,58
T2	B=13,19	C=15,23	A=52,45
T3	C=35,99	A=38,75	B=155,56

3.1.8. Calculo de ANOVA

Tabla 40. Tabla de cálculos para complementar la tabla ANOVA

Tipos de sustrato				Total por tratamiento (Y_i)	Operaciones básicas
	Z1	Z2	Z3		
Observaciones \Rightarrow	8,27	15,84	27,58	51,69	$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 Y^2_{ij} = (8,27^2 + 13,19^2 + \dots + 155,56^2)$ $= 31232,6$ = suma de los cuadrados de todas las observaciones o datos.
	13,19	15,23	52,45	80,87	
	35,99	38,75	155,56	230,3	

Total ($Y_{.j}$)	57,45	69,82	235,59	$Y_{..} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} = 8,27 + 13,19 + \dots + 155,56$ $= 362,86$
Número de datos en cada tratamiento (n_i)	3	3	3	$N = \sum_{i=1}^3 n_i = 9$ Total de mediciones
Media muestral por tratamiento (\bar{Y}_i)	19,15	69,82	235,59	$\bar{Y}_{..} = \frac{Y_{..}}{N} = \frac{362,86}{9} = 40,32$ media global
Desviaciones respecto a la media global ($\hat{\tau}_i$)	-21,17	-29,5	195,27	$\hat{\tau}_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_{..}$

$$SC_T = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^k Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N} = 31232,6 - \frac{362,86^2}{9} = 16601$$

$$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{b} - \frac{Y_{..}^2}{N} = \frac{51,69^2 + 80,87^2 + 230,3^2}{3} - \frac{362,86^2}{9} = 6118$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j}^2}{k} - \frac{Y_{..}^2}{N} = \frac{57,45^2 + 69,82^2 + 235,59^2}{3} - \frac{362,86^2}{9} = 6594$$

$$SC_E = SC_T - SC_{TRAT} - SC_B = 3889$$

Tabla 41. Tabla ANOVA del experimento realizado.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado medio	Fo	Valor - p
Tratamientos	6118	2	3059	3,15	0,150
Bloques	6594	2	3297	3,39	0,137
Error	3889	4	972,25		
Total	16601	8			

Recordemos que la variable de respuesta es el porcentaje promedio de crecimiento para cada uno de los tratamientos (sustratos). Lo cual prueba en base al análisis de la varianza explicado en la tabla 41. De esta tabla se aprecia:

- $F > F_0$ ($P(6,944 > 3,15)$), se acepta la hipótesis H_0 , es decir, al menos dos tratamientos son iguales para los valores de porcentaje promedio.
- De la misma manera para la zonas de la ciudad, como su valor $F > F_0$ ($P(6,94 > 3,39)$), al menos dos de los bloques no presentan diferencias significativas entre las zonas de la ciudad en cuanto al crecimiento promedio.
- Cabe señalar que tanto el tratamiento 3 (T3) y la zona 3 presentan valores diferentes y con diferencias significativas, si lo comparamos con los restantes.

3.2. Diseño del sistema de cultivo

A continuación se diseñó un sistema de cultivo utilizando elementos disponibles en el mercado y considerando ciertas características que a continuación serán detalladas.

3.2.1. Materiales

- Contenedor superior: Plástico con ranuras.
- Contenedor inferior: Plástico sin ranuras.
- Tela: Sintética tipo fieltro.
- Sustrato: Indicado en los incisos anteriores.

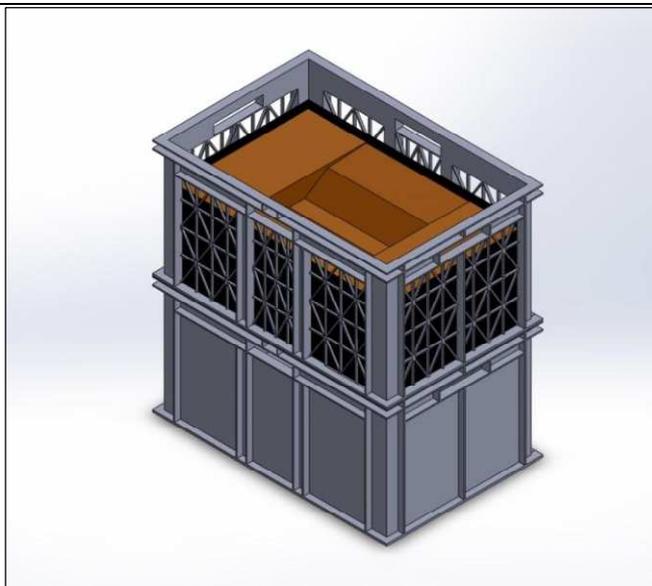


Figura 193. Unidad de cultivo experimental.

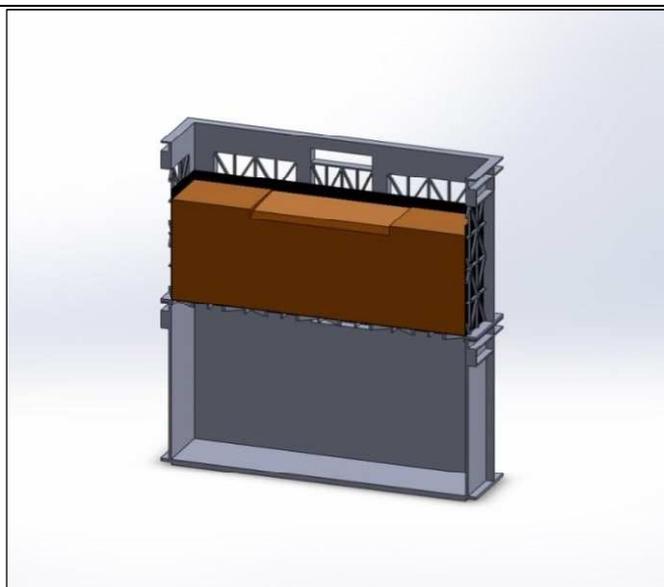


Figura 194. Unidad de cultivo - vista tipo corte.

3.2.2. Características para el manejo

- Aireación: Las ranuras presentes en el contenedor permiten que el aire fluya (figura 196) a través del sustrato y mejore las condiciones de aireación para las raíces.
- Lixiviación: Considerando que el lixiviado de los sustratos se presentará en el momento en que este sobrepase la cantidad máxima de retención de agua. Este recurso nutricional e hídrico es aprovechado mediante su recolección en el contenedor inferior y luego añadido como riego (figura 196).
- Transporte: Sus elementos permiten un transporte más fácil debido a que cuenta con ranuras para su manipulación (figura 194).
- Aprovechamiento de agua: Es importante destacar que el sustrato fue conformado de acuerdo a la figura 194, esto permite que el agua se concentre en la zona media del sistema y así se reduce la cantidad de agua que se percola a través de los bordes, donde el sustrato, el fieltro y el contenedor se juntan.
- Cultivo: Las pequeñas plataformas conformadas con el sustrato que se pueden observar en los extremos horizontales del contenedor, son los espacios en los cuales las especies vegetales se desarrollan.

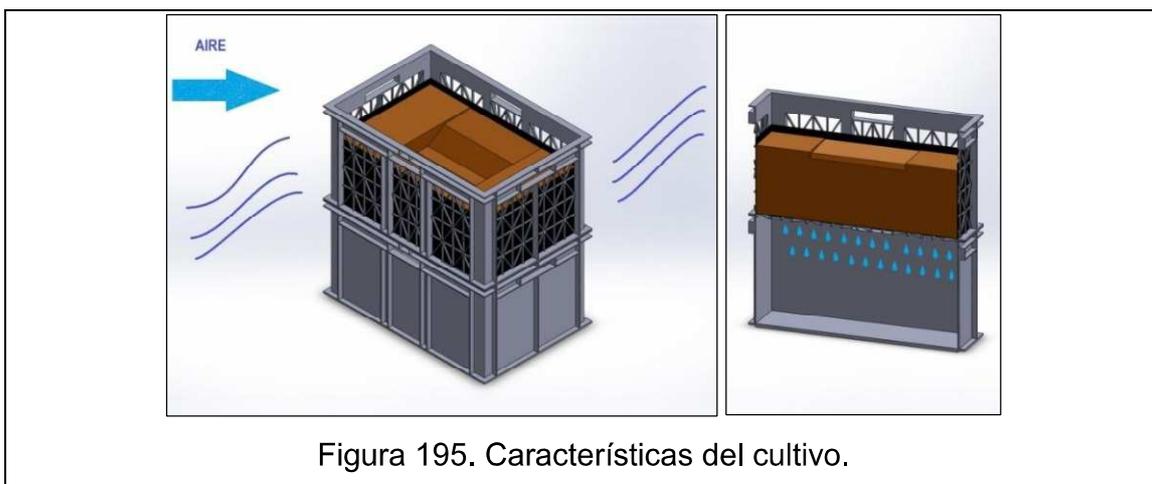
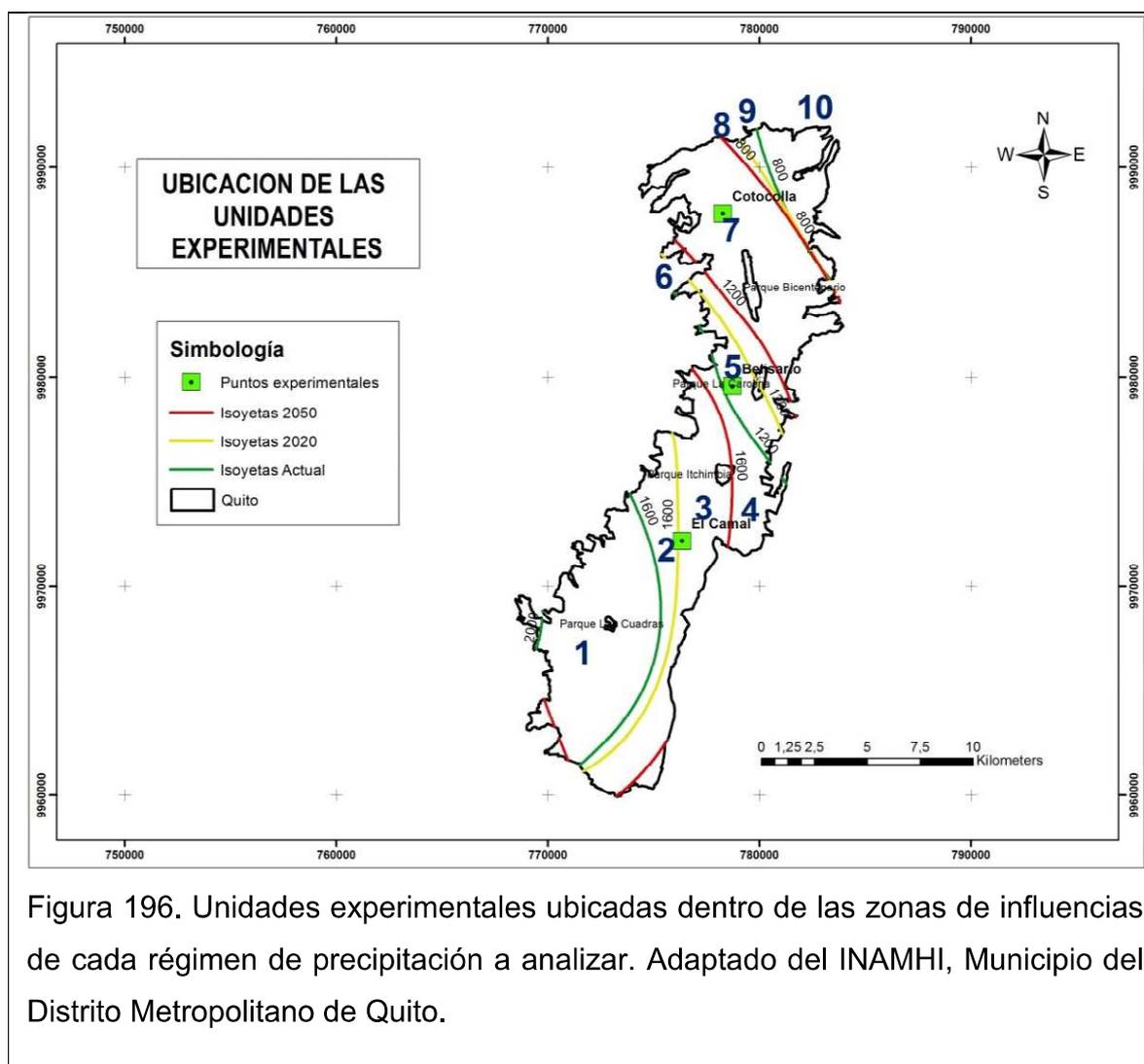


Figura 195. Características del cultivo.

3.2.3. Disposición del cultivo en las terrazas de los edificios



La selección de las zonas donde se implementó el experimento se la realizó considerando la facilidad que brindan las estaciones de monitoreo atmosférico (Secretaría de Ambiente - Municipio de Quito) para la recopilación de datos meteorológicos. Las estaciones al igual que los cultivos se encuentran en terrazas de edificios.

Punto 1: Se encuentra en la zona norte, sector de Cotocollao (Centro de Desarrollo Comunitario) (figura197). Los cultivos fueron ubicados de tal manera que los vientos provenientes del norte y noroeste (figuras 120 y 121) son en cierto grado detenidos por la estación meteorológica de la Secretaria de Ambiente.



Punto 2: Emplazado en la zona centro norte, sector de Belisario (Colegio San Gabriel) (figura 197): Ubicado en la terraza donde los muros de borde protegen a los cultivos de los vientos provenientes del oeste, noroeste y norte (figuras 120 y 121).



Punto 3: En el sector centro sur de la ciudad, sector El Camal (Patronato): Dispuesto en la terraza del centro de salud cerca a los muros lo cual permite que los vientos provenientes del este, sureste y sur (figuras 120 y 121) sean de alguna manera retenidos.



3.3. Síntesis del experimento de cultivo en terraza

3.3.1. Variables hidrometeorológicas pronosticadas para los meses de noviembre y diciembre

Basado en los mapas elaborados para cada una de las variables meteorológicas expuestas en los incisos 2.2 y 2.3 se pronosticaron los siguientes valores aproximados durante el experimento:

Tabla 42. Valores esperados de las variables hidrometeorológicas para el mes de noviembre.

Punto	P (mm)	Tm (°C)	TmT (°C)	TmA (°C)	TmP (°C)	TminA (°C)	TminP (°C)	H (horas)	Rs (W/m2)	D	ETo (mm)	P-ETo (mm)	R (mm)	ETR (mm)	F (mm)	E (mm)
1	70	13,5	13,4	27	22,3	0	6,6	5,7	5000	N	70	0	50	70	4	0
2	120	13,5	13,3	26	24,6	0	6,7	5,4	4560	NE, SE	70	60	70	75	0	0
3	130	13	13,4	26	21,5	-1	7,7	5,2	5000	SE	70	35	75	75	0	15

Nota: P = precipitación; Tm = temperatura media; TmT = temperatura media en terrazas; TmA = temperatura máxima absoluta; TmP = temperatura máxima promedio; TminA = Temperatura mínima absoluta; TminP = temperatura mínima promedio; H = heliofanía; Rs = radiación solar; D = dirección del viento; ETo evapotranspiración potencial; R = reserva; ETR = evapotranspiración real; F = falta; E = exceso.

Tabla 43. Valores esperados de las variables hidrometeorológicas para el mes de diciembre.

Punto	P (mm)	Tm (°C)	TmT (°C)	TmA (°C)	TmP (°C)	TminA (°C)	TminP (°C)	H (horas)	R (W/m2)	D	ETo (mm)	P-ETo (mm)	R (mm)	ETR (mm)	F (mm)	E (mm)
1	60	13,5	13,4	29	21,5	2	5,2	5,7	5060	N	70	-10	70	70	4	0
2	120	13,5	13,4	29	21,7	2	6	5,4	4800	NE, SE	70	50	90	70	2	0
3	130	13	13,4	28	21,4	0	5,5	5,2	5060	SE	70	60	80	70	3	15

Nota: P = precipitación; Tm = temperatura media; TmT = temperatura media en terrazas; TmA = temperatura máxima absoluta; TmP = temperatura máxima promedio; TminA = temperatura mínima absoluta; TminP = temperatura mínima promedio; H = heliofanía; Rs = radiación solar; D = dirección del viento; ETo evapotranspiración potencial; R = reserva; ETR = evapotranspiración real; F = falta; E = exceso.

3.3.2. Variables hidrometeorológicas reales para los meses de noviembre y diciembre

Los valores que se presentan en las siguientes tablas, corresponden a los registros de la estaciones de la Secretaria de ambiente para los meses de noviembre y diciembre del 2014 y son necesarios para contrastar con los valores calculados y representados en los mapas y que se encuentran sintetizados en las tablas 42 y 43.

La fórmula aplicada para determinar la evapotranspiración de referencia a partir de la temperatura es la establecida por Thornthwaite

$$e = 16 * (10 * tm/I)^a$$

Donde,

e = evapotranspiración mensual sin ajustar (mm)

tm = temperatura media mensual en °C

I = índice de calor anual

i_j = índice de calor mensual (Tabla 26)

a = parámetro que se calcula en función de..

$$I = \sum i_j ; j = 1, \dots, 12 \quad (\text{Ecuación 57})$$

$$i_j = \left(\frac{tm_j}{5} \right)^{1.1514} \quad (\text{Ecuación 58})$$

$$a = (0,000000675 * I^3 - 0,0000771 * I^2 + 0,01792 * I + 0,4239) \quad (\text{Ecuación 59})$$

Se utiliza la evapotranspiración mensual sin ajustar ya que la fórmula de Thornthwaite, además, añade al cálculo la consideración del número de día del mes y las horas luz de cada día en función de la latitud, sin embargo, ya que Quito se encuentra en la latitud 0 se puede omitir esta corrección.

Tabla 44. Valores reales de las variables hidrometeorológicas para el mes de noviembre/2013.

Punto	P (mm)*	TmT (°C)*	Rs (W/m2)*	I	a	ETo (mm)	P-ETo (mm)	R (mm)	ETR (mm)	F (mm)	E (mm)
1	15,70	13,67	7165,00	38,16	1,03	59,77	-44,07	0,00	15,70	44,07	0,00
2	49,40	13,73	5769,00	38,37	1,04	59,95	-10,55	0,00	49,40	10,55	0,00
3	43,90	13,81	6887,00	38,92	1,04	60,05	-16,15	0,00	43,90	16,15	0,00

Nota: *Datos obtenidos de la REDMAQ

Tabla 45. Valores reales de las variables hidrometeorológicas para el mes de diciembre/2013.

Nota: *Datos obtenidos de la REDMAQ

Con este escenario es imposible que el experimento pudiese mantenerse por sí solo tal y cual se lo pretendía, ya que los datos de precipitación para los meses estudiados difieren de los pronosticados y se lo puede observar en las tablas (42-45).

Un análisis más detallado sobre la precipitación en los meses de noviembre y diciembre, y su variación con respecto a los datos pronosticados se lo puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 46. Cobertura real del agua lluvia durante los meses de noviembre y diciembre (2013) frente a sus pronósticos.

Punto	Precipitación real (l/m ²)(mm)	Precipitación supuesta (l/m ²)(mm)	Porcentaje real frente al supuesto (%)
P1	61	135	45,18
P2	110	245	50
P3	133	275	48,36

Nota: Precipitación supuesta basada en los mapas de precipitación y la precipitación real fue obtenida de los registros de las estaciones de la Secretaría de Ambiente (REDMAQ).

3.3.3. Riego a partir de la variación de las condiciones hidrometeorológicas.

Una vez empezado el experimento las condiciones de precipitación esperadas no se cumplieron, por lo tanto se tomó la decisión de aplicar una cantidad de agua externa (potable) a los cultivos, esto con el afán de evitar marchitez o estrés hídrico a causa de la falta de agua y así poder continuar con el experimento.

Las precipitaciones influyen en la medida que aportan con mayores reservas a los sustratos de cada uno de los tratamientos y por lo tanto la facilidad de la planta para extraer agua con menos esfuerzo.

Para el análisis del riego (cantidad de agua) empleado durante todo el experimento se consideró sumar la precipitación caída durante los meses de noviembre y diciembre del 2013, y la cantidad de agua potable añadida (tabla 47). Luego el volumen total de riego fue restado del exceso que fue medido durante el desarrollo del experimento.

Tabla 47. Cantidad de agua utilizada en el riego de los cultivos.

Punto	Tratamiento	Riego (Agua potable) (l)	Precipitación (l/m ²)(mm)	Cultivo (m ²)	Precipitación en el Cultivo (l)	Volumen Total Riego (l)	Total Exceso (l)	Total Gasto Agua potable (Riego - Exceso) (l)
P1	T1	35	61,1	0,12	7,33	39,56	1,9	37,66
	T2	35	61,1	0,12	7,33	39,56	2	37,56
	T3	35	61,1	0,12	7,33	39,56	3,45	36,11
P2	T1	35	109,7	0,12	13,16	48,16	2	36,16
	T2	35	109,7	0,12	13,16	48,16	5,5	42,66
	T3	35	109,7	0,12	13,16	48,16	6,35	41,81
P3	T1	35	133	0,12	15,96	50,96	14,55	36,41
	T2	35	133	0,12	15,96	50,96	16,95	34,01
	T3	35	133	0,12	15,96	50,96	14,85	36,11

Nota: La cantidad de gasto de agua (noviembre - diciembre).

La cantidad total de gasto de agua (tabla 47) es prácticamente similar en cada uno de los tratamientos del experimento eso quiere decir que es la cantidad de agua que el cultivo necesita o la que el sustrato logra retener (en términos teóricos).

Ahora, para determinar la necesidad de agua extra (potable) aproximada que requieren los cultivos, se resta el riego de agua potable del total de exceso, lo cual se denota en la siguiente tabla:

Tabla 48. Riego estimado de agua potable para los cultivos, considerando su ubicación dentro de Quito.

Punto	Tratamiento	Riego experimental (Agua potable) (l)	Total Exceso (l)	Riego estimado (Agua potable) (l)
P1	T1	35	1,9	33,1
	T2	35	2	33
	T3	35	3,45	31,55
P2	T1	35	2	33
	T2	35	5,5	29,5
	T3	35	6,35	28,65
P3	T1	35	14,55	20,45
	T2	35	16,95	18,05
	T3	35	14,85	20,15

Nota: Los valores con azul corresponden a las zonas donde se requiere menor cantidad de agua potable para su implementación.

Todos los tratamientos contaron con la misma cantidad externa de agua (potable), el agua proveniente de la lluvia fue la que cambia las condiciones atmosféricas en cada uno de los puntos. Esta condición del clima también modifica la disponibilidad de agua, esto se puede observar en la tabla 47 donde el volumen total de riego es mayor para los tratamientos de los puntos p3 y p2 que para los tratamientos del punto p1.

Ahora y guiados por el marco teórico señalado sobre balance hídrico (inciso 1.5) y las tablas (42 -45), se compara el valor estimado y real de riego para cada uno de los tratamientos.

Tabla 49. Evapotranspiración de referencia y precipitación supuesta para los meses de noviembre y diciembre del 2013.

Punto	ETo supuesta en el Cultivo (l)	Precipitación supuesta en el Cultivo (l)	P - ETo supuesto(l)	Riego supuesto o Falta (l)	ETR supuesta (l)
P1	16,8	16,2	-0,6	0,6	16,2
P2	16,8	29,4	12,6	0	16,8
P3	16,8	33	16,2	0	16,8

Nota: Los valores utilizados son a partir de las tablas 42 y 43. Los valores expresados en litros se determinan a partir de la equivalencia 1 litro (l) por metro cuadrado (m²) es igual 1 milímetro (mm).

Tabla 50. Evapotranspiración de referencia y precipitación presente para los meses durante el experimento (noviembre y diciembre del 2013).

Punto	ETo presente en el Cultivo (l)	Precipitación real en el Cultivo (l)	P - ETo real (l)	Riego real o Falta (l)	ETR real estimada (l)
P1	14,54	7,33	-7,21	7,21	7,33
P2	14,7	13,16	-1,54	0	13,16
P3	14,66	15,96	1,3	0	14,66

Nota: Los valores utilizados son a partir de las tablas 44 y 45. Los valores expresados en litros se determinan a partir de la equivalencia 1 litro (l) por metro cuadrado (m²) es igual 1 milímetro (mm).

Según la tabla 50 y en base al análisis de las variables hidrometeorológicas analizadas en la tabla 48 se puede decir que con las condiciones presentes solo se requerirían 7,21 litros de agua extra para el punto 1 y 0,6 litros en el caso

teórico (tabla 49), sin embargo, en la tabla 48 podemos observar la cantidad de agua que se necesita añadir, lo cual difiere de los valores de la tabla 50.

Por lo tanto se puede concluir que la unidad de cultivo en terraza posee una evapotranspiración superior a la calculada en base a las ecuaciones (24 y 57).

Una aproximación planteada por el autor se la estima a continuación, a partir de sumar el riego estimado (tabla 48):

Tabla 51. Evapotranspiración real de cultivos en terrazas usando el diseño de cultivo propuesto.

Punto	Tratamiento	Riego estimado (Agua potable) (l)	Precipitación real en el Cultivo (l)	ETR en el cultivo (l)
P1	T1	33,1	7,33	40,43
	T2	33	7,33	40,33
	T3	31,55	7,33	38,88
P2	T1	33	13,16	46,6
	T2	29,5	13,16	42,66
	T3	28,65	13,16	41,81
P3	T1	20,45	15,96	36,41
	T2	18,05	15,96	34,01
	T3	20,15	15,96	36,11

El valor difiere debido a las condiciones extra cultivo de referencia que se aplican a los cultivos implementados en terrazas, al diseño del sistema de cultivo, la conformación de la terraza y de la exposición al viento; también se puede considerar del tipo de sustrato que se emplea y la capacidad de retención de agua.

La cantidad de agua que se gasta por cultivo de 2 meses en la zona norte (P1) y centro (P2) de la ciudad y zona sur (P3), varía desde 34 - 47 litros.

3.3.4. Porcentaje de crecimiento de las especies vegetales

Determinar el crecimiento de las plantas estudiando los sustratos y las condiciones atmosféricas en cada una de las zonas de la ciudad.

Tabla 52. Porcentajes de crecimiento promedio para las especies vegetales plantadas en cada tipo de sustrato.

Tratamiento	Especie	Dimensiones Iniciales (cm)	Dimensiones Finales (cm)	Diferencia (cm)	Crecimiento (%)	Promedio Crecimiento (%)
Punto1 (P1)						
T1	Ají	13	14,5	1,5	11,5	8,3
	Lechuga	10	10,5	0,5	5,0	
T2	Ají	12	12,5	0,5	4,2	13,2
	Lechuga	9	11	2	22,2	
T3	Ají	13	14	1	7,7	36,0
	Lechuga	7	11,5	4,5	64,3	
Punto 2 (P2)						
T1	Ají	11,5	13,5	2	17,4	15,8
	Lechuga	10,5	12	1,5	14,3	
T2	Ají	14,5	16,5	2	13,8	15,2
	Lechuga	9	10,5	1,5	16,7	
T3	Ají	12,5	17,5	5	40,0	38,8
	Lechuga	8	11	3	37,5	
Punto3 (P3)						
T1	Ají	13	16	3	23,1	27,6
	Lechuga	10,6	14	3,4	32,1	
T2	Ají	12	14	2	16,7	52,5
	Lechuga	8,5	16	7,5	88,2	
T3	Ají	18	20	2	11,1	155,6
	Lechuga	7	28	21	300,0	

Nota: La lechuga en todos los casos fue la especie vegetal que mejor se adaptó a las condiciones.

La especie que mejor se adaptó a las diversas condiciones climáticas y de sustratos fue la lechuga. Una de las razones de la falta capacidad de crecimiento del ají es la necesidad de mayor profundidad de sustrato para su desarrollo y de mejores condiciones climáticas.

3.3.5. Oportunidades y limitantes

Oportunidades:

- El espacio en las terrazas de la ciudad es un excelente lugar para el cultivo de alimentos.
- Las condiciones atmosféricas en la época lluviosa en la zona centro y sur de la ciudad permite que el manejo del cultivo ocupe menos recursos hídricos de las redes de agua potable.
- El transporte de los cultivos, permite que las personas puedan desplazarse y aun conservarlos.
- Pensar en la implementación de sistemas de captación de agua lluvia como fuente de agua para reducir la presión sobre el sistema de agua potable.

Limitantes:

- La contaminación atmosférica ocasiona que los cultivos deban ser controlados con mayor rigurosidad y que deban ser ubicados en lugares alejados de la alta circulación vehicular, de las zonas industriales y de los edificios antiguos.
- El peso de las unidades influye para su manipulación individual y debe ser considerado previo a su movilización.
- Las plantas capaces de adaptarse a lugares pequeños para su desarrollo deben ser las que se deban elegir sobre cualquier otra, especialmente hortaliza pequeña.
- El acceso a suelo y sustrato es uno de los mayores inconvenientes que presenta la propuesta, es necesario pensar en reutilizar los residuos orgánicos como materia prima para la elaboración de compost y vermicompost (lombricultura).

4. Capítulo IV. Estrategia y análisis económico y financiero de la propuesta

4.1. Estrategia de adaptación del proyecto al cambio climático.

La propuesta se enfoca desde una perspectiva anual de la variable de precipitación media. A partir de los valores promedios actuales y los proyectados a los años 2020 y 2050 se estiman las isoyetas, y por ende las isopletas las cuales nos permiten definir la superficie sobre la que influyen.

Se puede apreciar esta delimitación observando las figuras (201,203 y 204). La tendencia a reducir las condiciones de precipitación es evidente en las zonas NE y SO circundantes a la ciudad. Sin embargo dentro de la ciudad esta tendencia es contraria, es evidencia el desplazamiento de la pluviosidad del sur hacia el norte. La figura 202 grafica la tendencia al incremento o decremento de la precipitación en base a la relación precipitación vs tiempo.

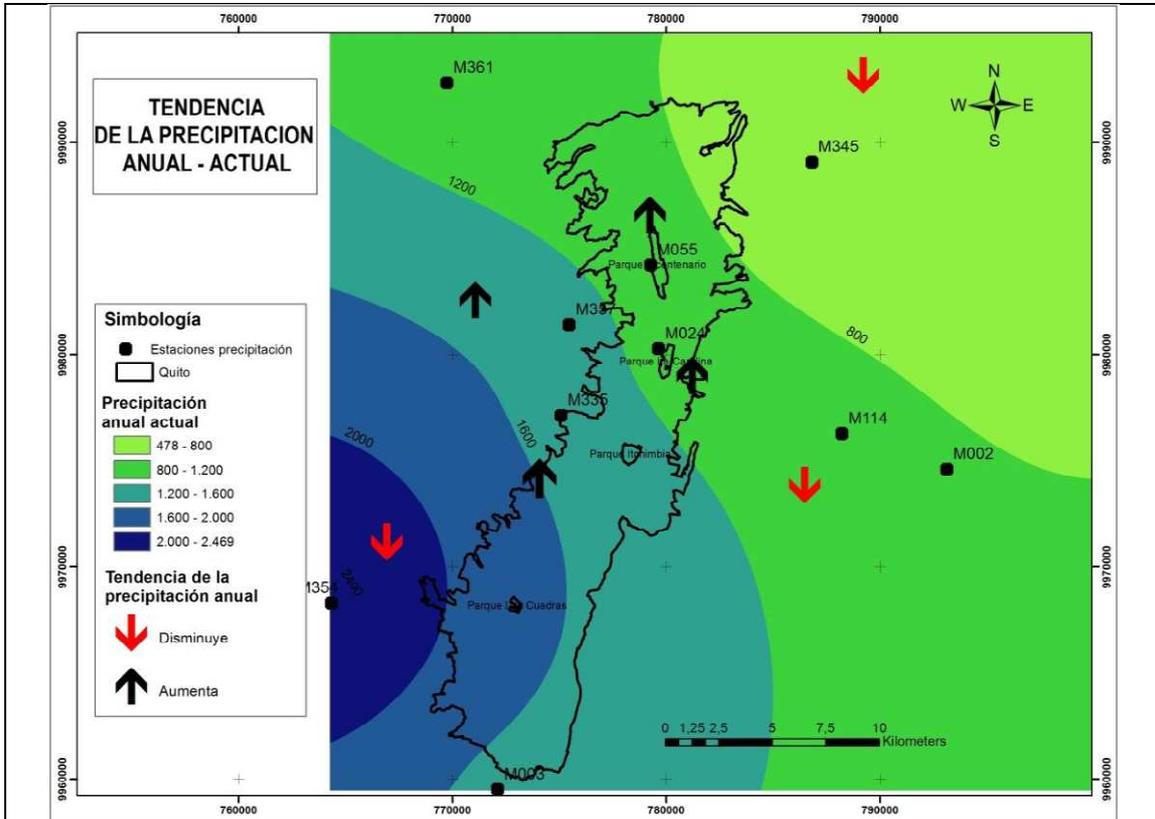


Figura 200. Precipitación promedio anual actual (mm) y la tendencia lineal de los registros. Adaptado del INAMHI.

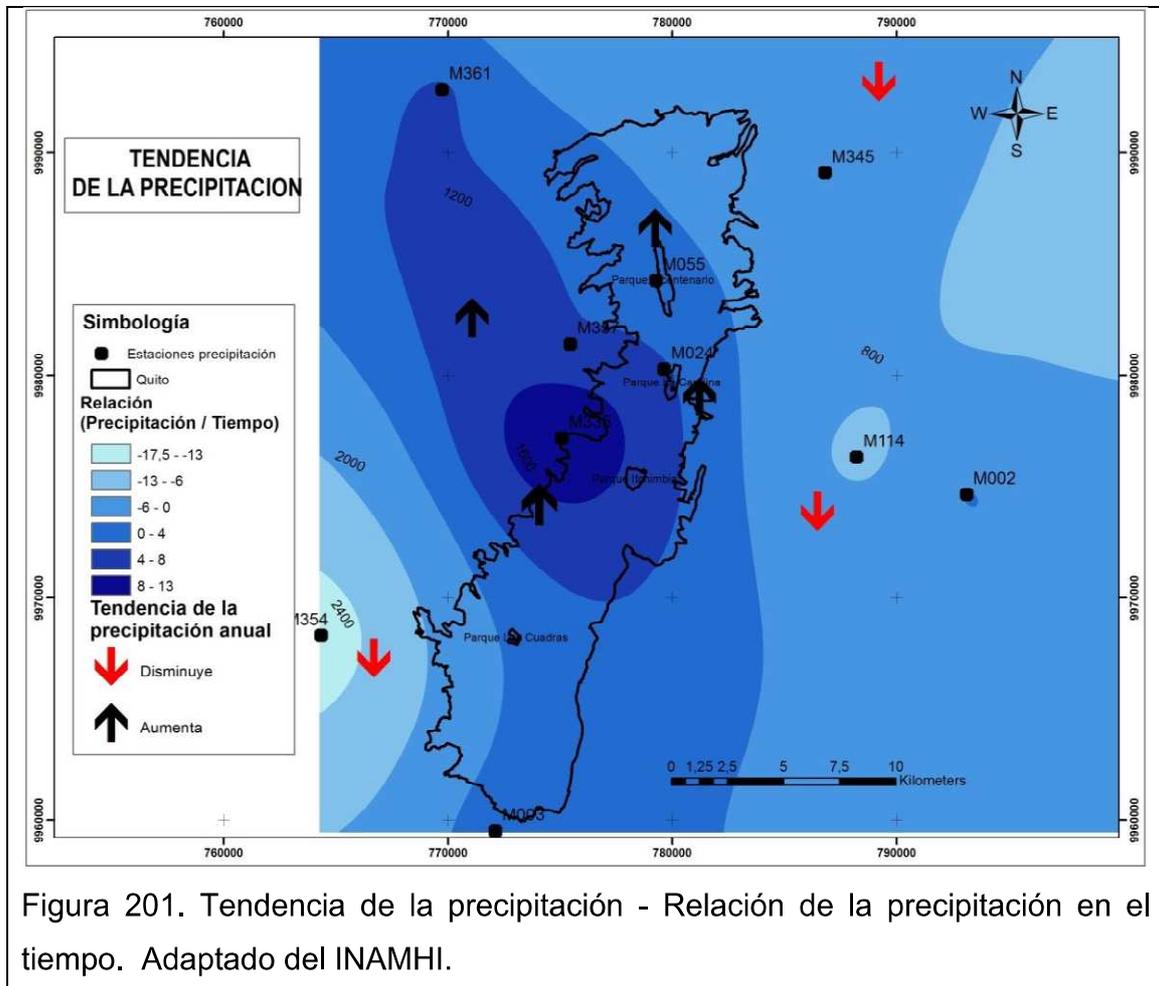


Figura 201. Tendencia de la precipitación - Relación de la precipitación en el tiempo. Adaptado del INAMHI.

Las zonas con tonalidades oscuras representa los lugares donde se han incrementado las precipitaciones, mientras que en las zonas donde las tonalidades son mas claras se registran descensos en las precipitaciones (figura202).

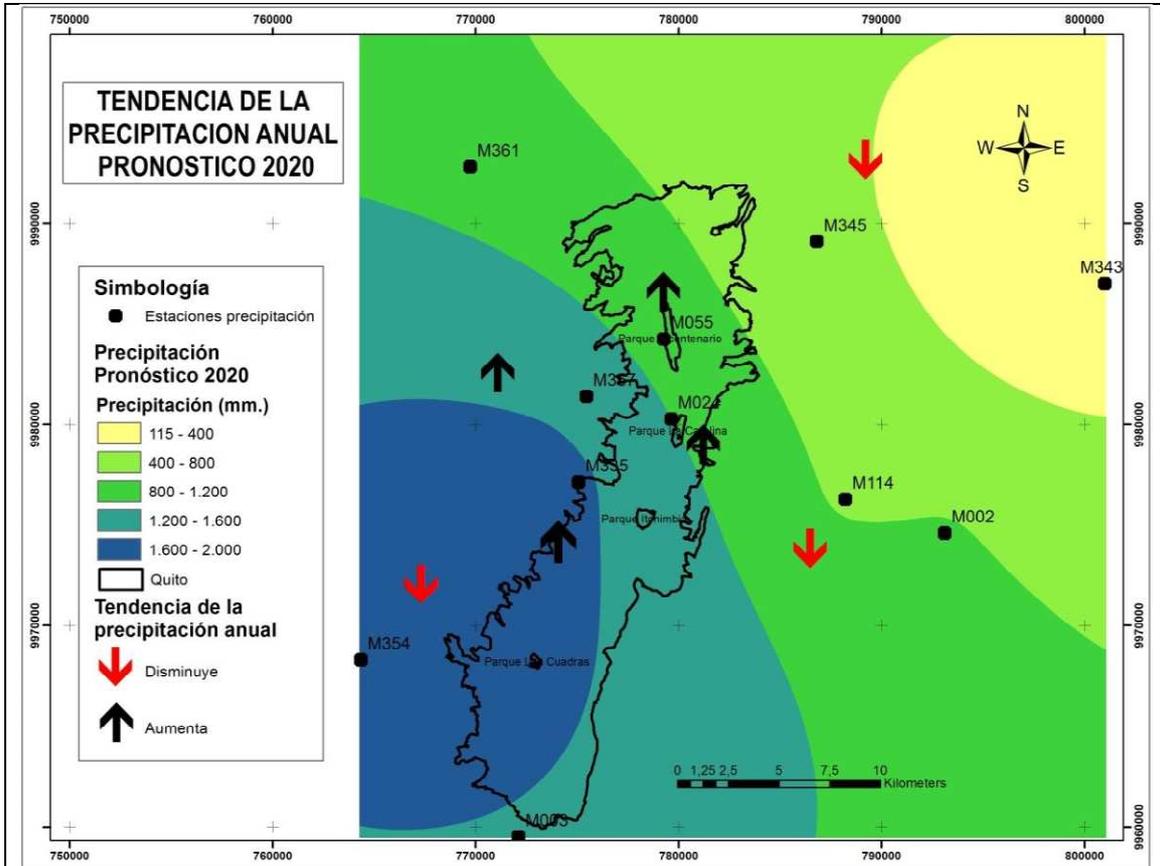


Figura 202. Proyección de la precipitación para el año 2020. Adaptado del INAMHI.

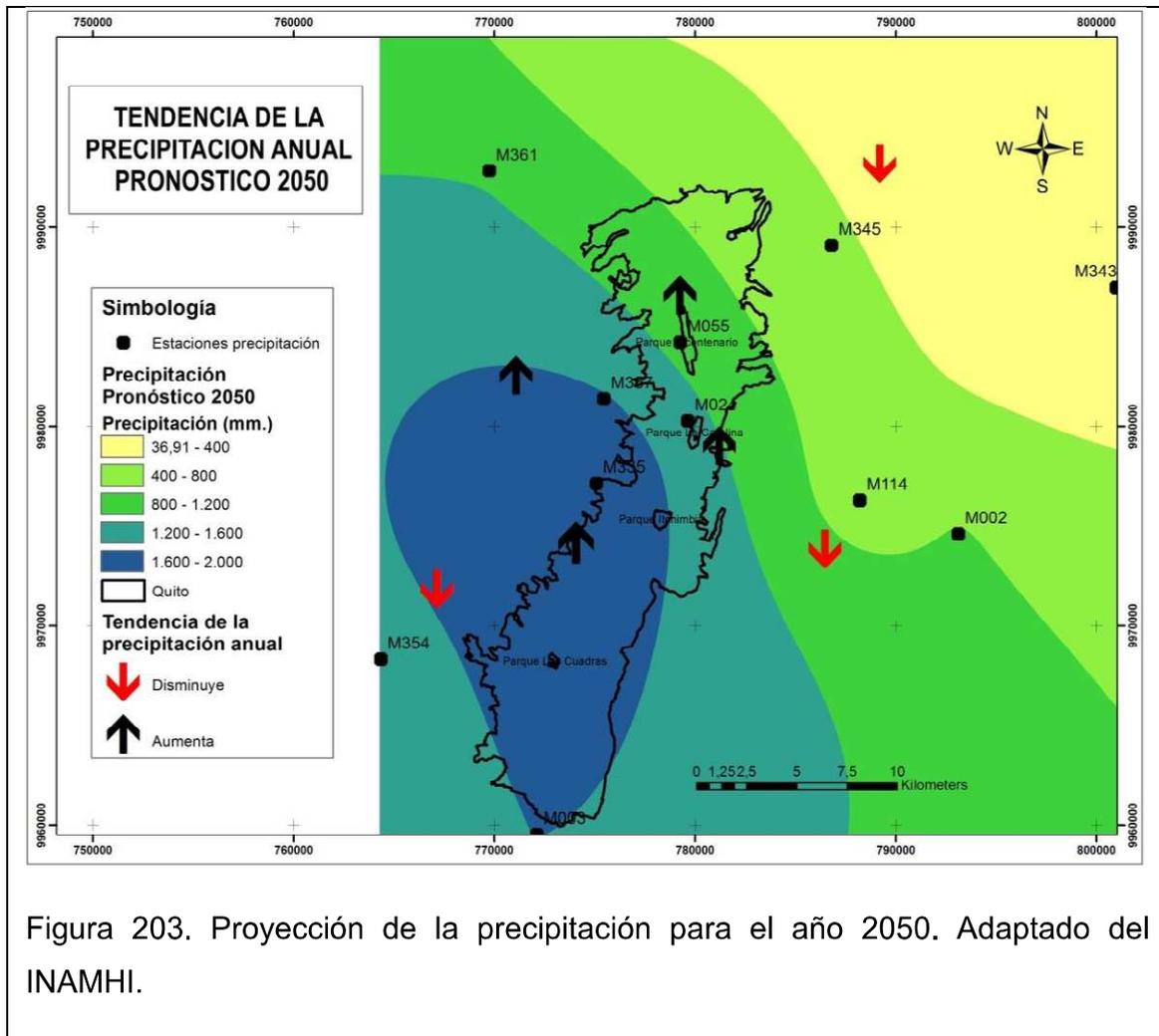


Figura 203. Proyección de la precipitación para el año 2050. Adaptado del INAMHI.

Las isoyetas fueron determinadas mediante el uso de las interpolaciones realizadas por medio de un SIG (método Kriging), las cuales luego fueron superpuestas sobre la superficie de la ciudad de Quito y así se determinan los volúmenes de precipitación por zona de la ciudad.

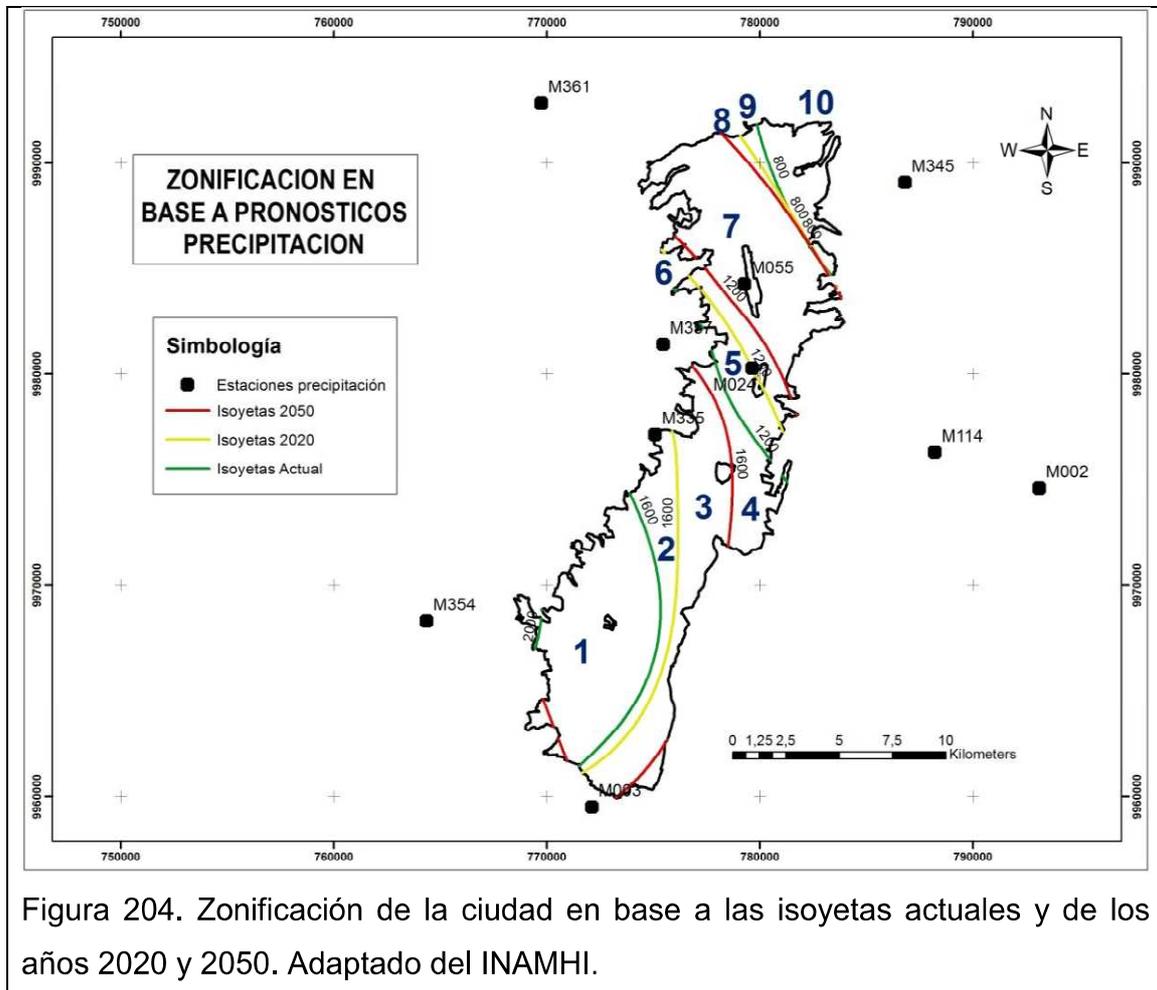


Figura 204. Zonificación de la ciudad en base a las isoyetas actuales y de los años 2020 y 2050. Adaptado del INAMHI.

En la figura 205 se definieron las zonas y la superficie, basados en las figuras (201 - 204), las mismas que están expresadas en la tabla 53:

Tabla 53. Superficie de las zonas de la ciudad.

Polígono (Fig. 205)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Área aproximada de la zona (ha)	3361	1683	2995	1186	975	941	3714	153	156	1100

Nota: Delimitación del área mediante isoyetas actuales, proyección 2020 y 2050.

Determinadas las zonas se estimó una precipitación promedio que la influencia para lo cual se realizó una media aritmética entre las isoyetas superior e inferior correspondiente al mismo periodo de tiempo.

Tabla 54. Zonificación de la ciudad en base a las isoyetas.

Zona	Isoyeta Superior (mm)	Isoyeta Inferior (mm)	Precipitación promedio (mm)
1	2000	1800	1800
2	1600	1200	1400
3	1200	800	1000
4	800	400	600

Nota: Permite definir una precipitación promedio para un área determinada. Elaboración: Autor.

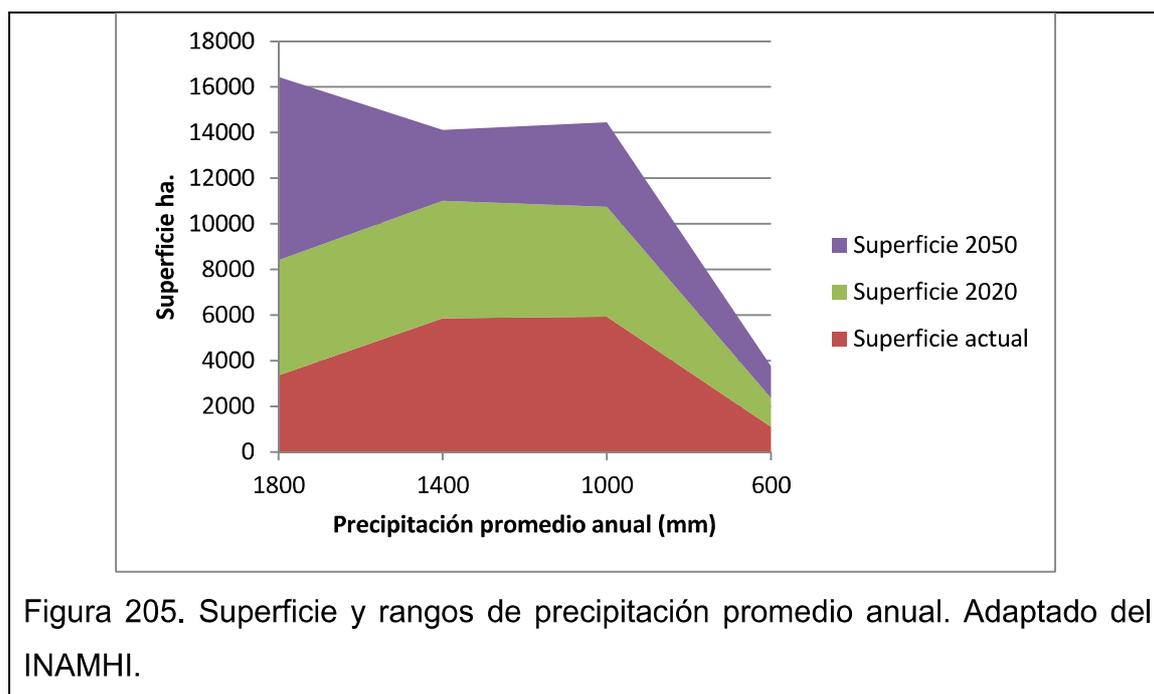
Los polígonos que se encuentran dentro de un mismo régimen de precipitaciones (figura 205) son sumados y así se determina una superficie estimada de precipitación, lo cual ayuda a estimar volúmenes de precipitación (tabla 48).

Tabla 55. Superficie de la zonificación en base a las isoyetas.

Zona	Precipitación Promedio Anual*	Superficie actual (según fig. 201)	Superficie actual. ha	Superficie P. 2020 (según fig. 203)	Superficie 2020. ha	Superficie P. 2050 (según fig. 204)	Superficie 2050. ha
1	1800	1	3361	1+2	5044	1+2+3	8039
2	1400	2+3+4	5864	3+4+5	5156	4+5+6	3102
3	1000	5+6+7+8+9	5939	6+7+8	4808	7	3714
4	600	10	1100	9+10	1256	8+9+10	1409

Nota: * Promedio de la zona basado entre las isolíneas de un mismo periodo de tiempo. La figura 205 muestra los valores gráficamente. Elaboración: Autor.

En el siguiente gráfico podemos observar que el régimen de precipitación se aumentará en el 2050 en el rango de 1800 mm y de 1400 mm para el 2020.



Cabe recalcar que el volumen de precipitaciones dentro de la ciudad tiene a incrementarse (figura 200).

Una vez determinada el área aproximada de las zonas de precipitación se determina el volumen de precipitación para cada una de ellas.

Tabla 56. Estimación del volumen total de precipitación por zona de la ciudad.

Pronóstico	Zona	Precipitación Promedio Anual (mm)*	Superficie aprox. (m2)	Volumen de precipitación (m3)	Volumen total ciudad (m3)
Actual	1	1800	33'610.000	60'498.000	
	2	1400	58'640.000	82'096.000	

	3	1000	57'830.000	57'830.000	207'024.000
	4	600	11'000.000	6'600.000	
2020	1	1800	50'440.000	90'792.000	218'592.000
	2	1400	51'560.000	72'184.000	
	3	1000	48'080.000	48'080.000	
	4	600	12'560.000	7'536.000	
2050	1	1800	80'390.000	144'702.000	233'724.000
	2	1400	31'020.000	43'428.000	
	3	1000	37'140.000	37'140.000	
	4	600	14'090.000	8'454.000	

Nota:* 1 mm equivale a 1 lt/m² y 1000 lt equivalen a 1 m³.

El cálculo expuesto en la tabla 56, representa el volumen aproximado de agua que caería sobre las manzanas de Quito para los periodos actuales, así como las estimaciones para los años 2020 y 2050.

Es interesante determinar este valor, ya que la superficie determinada en dicha tabla fue estimada a partir de la superficie que ocupan las manzanas dentro de la ciudad, se considera seleccionar este valor ya que muchas manzanas en Quito cuentan con la infraestructura (casa, edificios, etc.) que canaliza el agua lluvia hacia las redes de alcantarillado. Este volumen estima la cantidad de agua que potencialmente puede ser almacenada, para ser luego utilizada.

A continuación se determina la superficie hábil para implementar los cultivos, la cual se considera en un 20% del total de superficie, esta consideración parte en la conjetura que no todas las terrazas y techos presentes en las manzanas de Quito son aptos para cultivar.

Tabla 57. Superficie hábil para cultivar en terrazas y unidades de cultivo.

Pronóstico	Zona	Superficie aproximada. (m²)	Superficie hábil estimada (20%) (m²)	Unidades estimadas de cultivos*
-------------------	-------------	---	--	--

Actual	1	33'610.000	6'722.000	6'722.000
	2	58'640.000	11'728.000	11'728.000
	3	57'830.000	11'566.000	11'566.000
	4	11'000.000	2'200.000	2'200.000
2020	1	50'440.000	10'088.000	10'088.000
	2	51'560.000	10'312.000	10'312.000
	3	48'080.000	9'616.000	9'616.000
	4	12'560.000	2'512.000	2'512.000
2050	1	80'390.000	16'078.000	16'078.000
	2	31'020.000	6'204.000	6'204.000
	3	37'140.000	7'428.000	7'428.000
	4	14'090.000	2'818.000	2'818.000

Nota:* Se consideró que la cantidad de unidades de cultivo serán implementadas a razón de 1 por m².

Otros valores que requieren ser estimados son:

- El volumen que precipita sobre cada una de las unidades de cultivo (tabla 58), considerando cada zona en base a la tabla 55.
- El volumen cobertura mínimo basado en la tabla 46. Esto permite generar un rango de valores de requerimientos de agua.

Tabla 58. Volumen de agua estimado que potencialmente puede ser usado en los cultivos.

Pronóstico	Zona	Agua lluvia disponible sobre los cultivos (m³)*	Unidades de cultivo estimadas
Actual	1	1'451.952	6'722.000
	2	1'970.304	11'728.000
	3	1'387.920	11'566.000

	4	158.400	2'200.000
2020	1	2'179.008	10'088.000
	2	1'732.416	10'312.000
	3	1'153.920	9'616.000
	4	180.864	2'512.000
2050	1	3'472.848	16'078.000
	2	1'042.272	6'204.000
	3	891.360	7'428.000
	4	202.896	2'818.000

Nota: * Determinado a partir de la superficie que ocupa cada unidad de cultivo (0,12 m²) y el rango de precipitación establecido en la tabla 55.

A continuación se presentan los requerimientos hídricos de los cultivos y el rango de disponibilidad de agua lluvia que podrían presentarse con una disminución de la precipitación. En base a la tabla 46 se sugiere que se presentarán épocas en las cuales solo caerá el 50% de lo previsto, como ocurrió durante el experimento. Esto nos permite definir un rango de volumen de precipitación total disponible.

Tabla 59. Cantidad de agua estimada y cantidad de cobertura de agua que puede presentarse.

Pronóstico	Zona	Agua lluvia disponible sobre el cultivo (m3)	Porcentaje de cobertura real (%)*	Agua lluvia - cobertura (50%) (m3)
Actual	1	1'451.952	50	725.976
	2	1'970.304		985.152
	3	1'387.920		693.960
	4	158.400		79.200
2020	1	2'179.008		1'089.504
	2	1'732.416		866.208

	3	1'153.920		576.960
	4	180.864		90.432
2050	1	3'472.848		1'736.424
	2	1'042.272		521.136
	3	891.360		445.680
	4	202.896		101.448

Nota:* Datos estimados (tabla 46).

Una vez determinados los rangos de cobertura de agua lluvia que pueden presentarse en cada una de las zonas se calcula los requerimientos hídricos de los cultivos (consumo real de agua - tabla 51).

Tabla 60. Volumen total de agua aproximado que requerirían los cultivos.

Pronóstico	Zona	Unidades de cultivo estimadas	Consumo real individual (l)*	Consumo real anual estimado (m3)
Actual	1	6'722.000	198,5	1'334.317
	2	11'728.000		2'328.008
	3	11'566.000		2'295.851
	4	2'200.000		436.700
2020	1	10'088.000		2'002.468
	2	10'312.000		2'046.932
	3	9'616.000		1'908.776
	4	2'512.000		498.632
2050	1	16'078.000		3'191.483
	2	6'204.000		1'231.494
	3	7'428.000		1'474.458
	4	2'818.000		559.373

Nota: * El valor de consumo real fue obtenido mediante la media aritmética de los valores de los tratamientos 3(tabla 46) y su extrapolación para 10 meses de cultivo

considerados año de cultivo sumado a dos meses de preparación del contenedor para el siguiente cultivo.

Tabla 61. Consumo real anual y volumen de agua lluvia estimada y real.

Pronóstico	Zona	Consumo real anual aprox. (m3)	Agua lluvia disponible sobre el cultivo (m3)	Agua lluvia - cobertura (50%)* (m3)
Actual	1	1'334.317	1'451.952	725.976
	2	2'328.008	1'970.304	985.152
	3	2'295.851	1'387.920	693.960
	4	436.700	158.400	79.200
2020	1	2'002.468	2'179.008	1'089.504
	2	2'046.932	1'732.416	866.208
	3	1'908.776	1'153.920	576.960
	4	498.632	180.864	90.432
2050	1	3'191.483	3'472.848	1'736.424
	2	1'231.494	1'042.272	521.136
	3	1'474.458	891.360	445.680
	4	559.373	202.896	101.448

A continuación se realiza una resta entre los requerimientos hídricos reales de agua de los cultivos, y el agua lluvia disponible, y el consumo real cobertura (50%).

Tabla 62. Requerimientos hídricos por zona de precipitación.

Pronóstico	Zona	Consumo real - Agua lluvia disponible sobre el cultivo (m3)	Consumo real - Agua lluvia cobertura (50%)(m3)
Actual	1*	117.635	-608.341
	2	-357.704	-1'342.856
	3	-907.931	-1'601.891
	4	-278.300	-357.500
2020	1*	176.540	-912.964

	2	-314.516	-1'180.724
	3	-754.856	-1'331.816
	4	-317.768	-408.200
2050	1*	281.365	-1'455.059
	2	-189.222	-710.358
	3	-583.098	-1'028.778
	4	-356.477	-457.925

Nota: *Los requerimientos hídricos son los más bajos de toda la ciudad, sin embargo si la cobertura del agua lluvia llegase al 50%, se requeriría un recursos hídricos extra. Para determinar la falta de agua se requiere entender el valor en términos absolutos.

Se puede concluir que las zona 1 es la que provee mayores volúmenes de agua para los cultivos y la que requeriría menor cuidado en cuanto a riego externo (agua potable y almacenamiento). Tal es el cambio de las precipitaciones que si analizamos la tabla 60 se puede determinar la cantidad de unidades de cultivo que aumentan para la zona 1 para los años 2020 y para el 2050.

5.1.2. Sustratos y porcentajes.

Para referirnos a los volúmenes de sustrato que se requerirían podemos estimar un valor en base a la cantidad de unidades de cultivo y el volumen unitario de cada componente del sustrato.

Tabla 63. Volumen de sustratos requeridos para los cultivos.

Año	Zona	Sustrato	Porcentaje	Volumen (lit.)	Unidades de cultivo	Volumen (m3)
Actual	1	Suelo	33	12	6'722.000	80.664
		Pomina (roca volcánica)	17	6		40.332
		Cascarilla de arroz	17	6		40.332
		Compost	17	6		40.332

		Humus	17	6		40.332
		Total	100	36		241.992
2020	1	Suelo	33	12	10'088.000	121.056
		Pomina (roca volcánica)	17	6		60.528
		Cascarilla de arroz	17	6		60.528
		Compost	17	6		60.528
		Humus	17	6		60.528
		Total	100	36		363.168
2050	1	Suelo	33	12	16'078.000	192.936
		Pomina (roca volcánica)	17	6		96.468
		Cascarilla de arroz	17	6		96.468
		Compost	17	6		96.468
		Humus	17	6		96.468
		Total	100	36		578.808

Nota: 1000 litros es equivalente a 1 m3.

De igual manera, para calcular un aproximado de cosecha se estima que cada unidad de cultivo puede producir un atado de vegetales cada 2 meses para los 10 meses húmedos.

Tabla 64. Producción estimada de alimentos.

Año	Unidades de cultivo	Producción unitaria anual – cosechas estimadas por unidad de cultivo*	Producción de alimentos total anual unitaria estimada
Actual	6'722.000	5	33'610.000
2020	10'088.000	5	50'440.000
2050	16'078.000	5	80'390.000

Nota: *Basado en la producción de hortalizas pequeñas – tiempo de crecimiento hasta la cosecha (2 meses).

Para determinar un valor de fijación de CO₂ por medio del cultivo de plantas, se utiliza la siguiente relación (tomado de (Asociación Reforesta, 2013)):

“La relación entre el peso de la molécula de dióxido de carbono y el átomo de carbono que la compone es 44/12 (=3,67). Por tanto, 3,67 kg de CO₂ llevan, como ingrediente, 1 kg de carbono, lo que significa que, para acumular ese kg en sus tejidos, la planta ha tenido que “desactivar” 3,67 kg de CO₂”

El carbono se acumula en los tejidos vegetales. En el caso de las hortalizas en torno al 15% (Alimentos y nutrición, 2013) del peso de la materia seca es carbono. Se estima que cada alimento unitario (tabla 64) pese al menos 1 kg, por lo tanto, se determinaría una reducción de huella de carbono:

Tabla 65. Reducción de huella de carbono, expresado en Kg de CO₂.

Año	Producción de alimentos total anual estimada (kg)	Materia seca (15%) (Carbono) (kg)	CO ₂ (kg)
Actual	33'610.000	5'041.500	18'502.305
2020	50'440.000	7'566.000	27'767.220
2050	80'390.000	12'058.500	44'254.695

Tomando las cifras de producción de alimentos como referentes, se estima una reducción del de gas efecto invernadero CO₂ para Quito (tabla 65).

se plantea el proyecto para llevarlo como una campaña mediática de interés social a la ciudad así:

4.2. Costos del proyecto

En primera instancia se realizará un análisis del costo unitario de un cultivo en terraza:

Tabla 66. Costo de la unidad de cultivo.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio U. USD	Total (USD)
Cultivos en terrazas				
Gavetas superiores	1	U	22	22
Gavetas inferiores	1	U	22	22
Tela	0,5	m2	0,35	0,18
Balde	1	U	4	4
Humus	6	l	0,18	1,8
Compost	6	l	0,16	0,96
Pomina(roca volcánica)	6	l	0,84	5,04
Cascarilla de arroz	6	l	0,9	5,4
Semilla	10	U	0,1	1
Suelo	12	l	0,1	1,2
TOTAL				63,58

El proyecto debe estar enfocado para cada una de los años previstos, por lo tanto se debe estimar un valor presente y el valor para los años 2020 y 2050, para los cuales se considera un aumento de precio unitario debido a una inflación estimada del 5% anual.

Tabla 67. Montos de inversión requeridos

Cultivo	Costo unitario (USD)	Cantidad	Total (USD)
---------	-------------------------	----------	----------------

Actual	63,58	6'722.000	427'384,760
Año 2020	85,20*	3'366.000	286'783,200
Año 2050	368,22*	5'990.000	2.205'637.800

Nota:*Valores fueron obtenidos a partir de la consideración de la inflación anual (5%).

Una vez determinados los valores de la inversión se calcula la producción de los alimentos y sus ingresos previstos para los años 2020 y 2050.

Tabla 68. Ingreso estimado a partir de la cantidad de alimentos que se producirían.

Cultivo	Costo unitario (USD)	Cantidad alimentos*	Total (USD)
Actual	1	33'610.000	33'610.00
Año 2020	1,34*	50'440.000	67'589.600
Año 2050	5,79*	80'390.000	465'458.100

Nota: * Los valores fueron obtenidos de la tabla 58.

4.3. Flujo de caja del proyecto

Únicamente se consideró determinar el flujo de caja del proyecto, para implementar la primera fase del proyecto, es decir la cantidad de unidades de cultivo el cual consiste en la implementación de 6'722.000 por un costo total de 427'384.760 ha ser invertidos en el año 0 del proyecto. A continuación un detalle en las siguientes tablas:

Tabla 69. Datos generales para análisis económico.

DATOS	
Costos de inversión	Años
Estudios previos	0
Adquisición de equipos	25.000
Total costos de inversión	427'384.760
Inversión fija	427'409.760
Periodo depreciación equipos	25
Periodo amortización inv. Pre operativa	25
INFORMACIÓN GENERAL	
Horizonte de evaluación (años)	25
Producción anual estimada	33.610.000
Precio de venta unitario (USD)	1,5
Precio de venta equipos	427.384.760

Tabla 72. Cálculo de depreciaciones y amortización de pre operativos (parte 1)

CÁLCULO DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIÓN DE PREOPERATIVOS													
Equipos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor de adquisición	427.384,76 0												
Gasto depreciación		17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390
Depreciación acumulada		17.095.390	34.190.781	51.286.171	68.381.562	85.476.952	102.572.342	119.667.733	136.763.123	153.858.514	170.953.904	188.049.294	205.144.685
Valor en libros		410.289.370	393.193.979	376.098.589	359.003.198	341.907.808	324.812.418	307.717.027	290.621.637	273.526.246	256.430.856	239.335.466	222.240.075
Amortización	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valor de adquisición	25.000												
Gasto amortización		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Amortización acumulada		1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000	11.000	12.000
Valor en libros		24.000	23.000	22.000	21.000	20.000	19.000	18.000	17.000	16.000	15.000	14.000	13.000

Tabla 73. Cálculo de depreciaciones y amortización de pre operativos (parte 2)

CÁLCULO DEPRECIACIONES Y AMORTIZACIÓN DE PREOPERATIVOS												
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390	17.095.390
222.240.075	239.335.466	256.430.856	273.526.246	290.621.637	307.717.027	324.812.418	341.907.808	359.003.198	376.098.589	393.193.979	410.289.370	427.384.760
205.144.685	188.049.294	170.953.904	153.858.514	136.763.123	119.667.733	102.572.342	85.476.952	68.381.562	51.286.171	34.190.781	17.095.390	0
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25

1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13.000	14.000	15.000	16.000	17.000	18.000	19.000	20.000	21.000	22.000	23.000	24.000	25.000
12.000	11.000	10.000	9.000	8.000	7.000	6.000	5.000	4.000	3.000	2.000	1.000	0

Tabla 74. Cálculo de valores de liquidación

Cálculo valores de liquidación	
Equipos	
Valor de la venta	427.384.760,00
Valor en libros	341.907.808,00
Ganancia en venta de equipos	85.476.952,00
Ganancia neta en venta de activos	85.476.952,00
Como la ganancia neta es negativa, el valor de liquidación del activo, corresponde a su valor de venta.	
Valor de liquidación	427.384.760,00

Tabla 75. Plan de financiamiento (parte 1)

Plan de financiación	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Saldo	427.384.760	425.376.307	423.066.586	420.410.407	417.355.801	413.843.005	409.803.288	405.157.615	399.815.090
Cuota		66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167
Interés		64.107.714	63.806.446	63.459.988	63.061.561	62.603.370	62.076.451	61.470.493	60.773.642
Amortización		2.008.453	2.309.721	2.656.179	3.054.606	3.512.797	4.039.716	4.645.674	5.342.525

Tabla 76. Plan de financiamiento (parte 2)

	9	10	11	12	13	14	15	16
	393.671.187	386.605.698	378.480.385	369.136.276	358.390.551	346.032.966	331.821.744	315.478.839
	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167
	59.972.263	59.050.678	57.990.855	56.772.058	55.370.441	53.758.583	51.904.945	49.773.262
	6.143.903	7.065.489	8.125.312	9.344.109	10.745.726	12.357.584	14.211.222	16.342.905

Tabla 77. Plan de financiamiento (parte 3)

	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	296.684.498	275.071.006	250.215.490	221.631.646	188.760.226	150.958.093	107.485.640	57.492.319	0
	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167	66.116.167
	47.321.826	44.502.675	41.260.651	37.532.323	33.244.747	28.314.034	22.643.714	16.122.846	8.623.848
	18.794.341	21.613.492	24.855.516	28.583.844	32.871.420	37.802.133	43.472.453	49.993.321	57.492.319

Tabla 78. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 1)

CÁLCULO DEL EFECTO DE LA DEUDA Y DEL FLUJO DE CAJA DE LA DEUDA									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Interés neto después de impuestos		51.286.171	51.045.157	50.767.990	50.449.249	50.082.696	49.661.161	49.176.395	48.618.914
Flujo de caja de la deuda	427.384.760	-53.294.624	-53.354.878	-53.424.169	-53.503.855	-53.595.493	-53.700.877	-53.822.068	-53.961.438

Tabla 79. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 2)

CÁLCULO DEL EFECTO DE LA DEUDA Y DEL FLUJO DE CAJA DE LA DEUDA								
	9	10	11	12	13	14	15	16
	47.977.811	47.240.542	46.392.684	45.417.646	44.296.353	43.006.866	41.523.956	39.818.609
	-54.121.714	-54.306.031	-54.517.996	-54.761.755	-55.042.079	-55.364.450	-55.735.178	-56.161.515

Tabla 80. Cálculo del efecto de la deuda y del flujo de caja de la deuda (parte 3)

CÁLCULO DEL EFECTO DE LA DEUDA Y DEL FLUJO DE CAJA DE LA DEUDA										
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	37.857.461	35.602.140	33.008.521	30.025.859	26.595.798	22.651.227	18.114.971	12.898.277	6.899.078	
	-56.651.802	-57.215.632	-57.864.037	-58.609.702	-59.467.218	-60.453.360	-61.587.424	-62.891.598	-64.391.397	

Tabla 81. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 1)

FLUJOS DE CAJA NETO DEL PROYECTO Y DEL INVERSIONISTA									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo de caja del proyecto	-427.434.760	43.751.278	47.885.308	50.108.610	52.443.076	54.894.266	57.468.015	60.170.452	63.008.011
Flujo de caja de la deuda	427.384.760	-53.294.624	-53.354.878	-53.424.169	-53.503.855	-53.595.493	-53.700.877	-53.822.068	-53.961.438
Flujo de caja del inversionista	-50.000	-9.543.346	-5.469.570	-3.315.560	-1.060.779	1.298.773	3.767.139	6.348.384	9.046.573

Tabla 82. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 2)

FLUJOS DE CAJA NETO DEL PROYECTO Y DEL INVERSIONISTA							
9	10	11	12	13	14	15	16
65.987.448	69.115.856	72.400.685	75.849.755	79.471.279	83.273.879	87.266.609	91.458.976
-54.121.714	-54.306.031	-54.517.996	-54.761.755	-55.042.079	-55.364.450	-55.735.178	-56.161.515
11.865.733	14.809.825	17.882.689	21.088.000	24.429.201	27.909.429	31.531.431	35.297.461

Tabla 83. Flujos de caja neto del proyecto y del inversionista (parte 3)

FLUJOS DE CAJA NETO DEL PROYECTO Y DEL INVERSIONISTA								
17	18	19	20	21	22	23	24	25
95.860.961	100.483.045	105.336.233	110.432.081	115.782.721	121.400.893	127.299.974	133.494.009	139.997.746
-56.651.802	-57.215.632	-57.864.037	-58.609.702	-59.467.218	-60.453.360	-61.587.424	-62.891.598	-64.391.397
39.209.159	43.267.413	47.472.197	51.822.379	56.315.504	60.947.533	65.712.550	70.602.411	75.606.348

Desde el 5to año en adelante se puede observar que los flujos de caja neto del proyecto son positivos y que se mantiene al alza hasta concluir que su tiempo estimado de vida útil.

Tabla 84. Cuadro de análisis de valores VPN.

PARA EL ANÁLISIS			
Tasas de oportunidad	0,05	0,25	
Para las tasas de oportunidad indicadas, evaluar el proyecto sin y con financiación, con base en el valor presente neto.			
EVALUACIÓN	VPN (5%)	VPN (25%)	
FC PROYECTO	627.135.784,29	-206.388.487,37	
FC INVERSIONISTA	274.018.802,12	6.706.487,62	
TIR	30%		

Se puede determinar a partir de la tabla 84 que el VPN para el proyecto es conveniente siempre y cuando cuente con los recursos de la inversión (financiamiento); mientras que sin financiamiento el proyecto únicamente con 5% de tasa de oportunidad puede ser ejecutado.

La tasa interna de retorno es superior a 0 por lo cual se recomienda la inversión.

5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- 1) Se determinaron las condiciones actuales de las variables hidrometeorológicas estudiadas para cada mes del año, a continuación se enumeran aspectos generales:
 - a) La zona sur de la ciudad es el sector que presenta mayores índices de pluviosidad y se evidencia como un espacio óptimo para la aplicación de los cultivos, ya que disminuye la necesidad del recurso hídrico proveniente del sistema de agua potable o de alguna fuente de almacenamiento externa.
 - b) La temperatura media a lo largo del año es de 11,5 a 15 °C, lo cual denota un que existe un rango de cambio en 3,5 °C. Este rango permite definir qué tipo de especies vegetales pueden desarrollarse en la ciudad.
 - c) Las temperaturas máximas absolutas registradas pueden alcanzar desde los 22,5 - 30°C, indispensable para determinar las especies vegetales capaces de soportar estas temperaturas.
 - d) Las temperaturas mínimas absolutas pueden ser desde -4 – 4 °C, por lo tanto es necesario determinar un manejo apropiado en el caso de presentarse valores bajo los 0 °C.
 - e) Las horas de luz solar que recibe la ciudad en promedio en época lluviosa es aproximadamente 4, mientras que para la época seca se incrementa hasta las 7,5.

- f) La radiación solar durante l año oscila entre los 3500 a 5300 W/m², la época lluviosa presenta los valores más bajos, mientras que se e incrementa en los meses de la época seca.
 - g) La dirección del viento durante la mayor parte del año posee dos patrones de viento, uno empieza en octubre y se mantiene hasta mayo (8 meses), sin cambios radicales en su comportamiento. Los siguientes 4 meses poseen cambios en la dirección y en la velocidad, lo cual coincide plenamente con el inicio de la época seca.
 - h) La evapotranspiración de referencia para la ciudad de Quito es bastante homogéneo, en la época lluviosa los valores se sitúan entre los 60 – 70 mm, mientras que para los meses secos aumenta hasta los 90 mm.
 - i) Los meses de octubre a mayo se definen como los meses húmedos mientras que los meses de junio a septiembre son los meses secos. Esto influye en el comportamiento de la reserva de agua en el suelo así como en el exceso.
- 2) En cuanto a la calidad de agua se pudo definir que existe presencia de plomo, molibdeno y sulfatos, lo cual sumado a la leve acidez presente encontrada, puede afectar las condiciones de infiltración de los sustratos y contaminar los cultivos con este metal pesado.
 - 3) La cantidad de agua que se determinó para los meses de la época lluviosa en la zona centro norte, centro y sur de la ciudad podría suplir los requerimientos hídricos de cada una de las unidades de cultivo.
 - 4) Los sustratos empleados durante la investigación permitieron cultivar dos especies vegetales que mejores resultados presentó, es una mezcla homogénea entresuelo del tipo molisol, materia orgánica proveniente de

compostaje de residuos orgánicos, pomina (piedra pómez) y cascarilla de arroz.

- 5) Se pudo comprobar mediante diseño experimental que al menos dos sustratos presentaron comportamientos similares. Las condiciones atmosféricas presentes en la zona sur de la ciudad benefició al desarrollo de las especies vegetales.
- 6) Fueron implementados 3 cultivos en terrazas piloto en tres lugares diferentes de la zona de estudio y a partir de estos se realizó un experimento para comprobar su eficiencia.
- 7) Se elaboró una propuesta basada en la precipitación y su tendencia, en el tipo de especie vegetal idónea, en el sustrato adecuado de acuerdo al estudio, según una zonificación y con proyección para los años 2020 y 2050. Además se estimó un valor referente de reducción de gases de efecto invernadero (CO₂).

5.2. Recomendaciones

- Se requiere ubicar estaciones meteorológicas en la zona noroccidental y en la zona occidental de Quito, ya que algunas variables no se pudieron mapear por falta de datos en estas dos zonas de la ciudad. Además cabe añadir que se debe precautelar la integridad de los registros en las estaciones presentes y ampliar sus registros mediante la implementación de equipos que permitan medir más variables (dirección y velocidad de viento, heliofanía, T_{max} y T_{min} y humedad relativa etc.).
- Se debe realizar un estudio más profundo sobre la calidad del agua lluvia dentro de la ciudad y definir las zonas y épocas del año más riesgosas para implementar cultivos urbanos en terrazas de edificios.

- No se debe cultivar en lugares próximos a zonas con alto tráfico vehicular y cerca a edificios antiguos ya que existe una mayor posibilidad de acumular mayor cantidad de plomo.
- Se debe estudiar el tipo de manejo adecuado para enfrentar las heladas.
- Se recomienda estudiar las alternativas más idóneas para el almacenamiento del agua lluvia.
- Es necesario que se analice la calidad de los lixiviados (excedentes) que se recolectaron en cada unidad de cultivo y determinar su correcto manejo.
- Los sustratos fueron definidos de acuerdo a la oferta local, sin embargo, se debe ampliar la búsqueda de sustratos más económicos y que no dependan de una fuente no renovable (suelo y pomina).
- El diseño del contenedor del cultivo o unidad de cultivo debe ser comparado con más diseños con el fin de buscar el más óptimo que posea la menor ETR, mayor retención de agua (reserva) y que a su vez pueda recolectar el agua de exceso.
- Se requiere determinar con mayor exactitud la superficie exacta dentro de cada una de las manzanas de Quito que permita el cultivo de en terrazas de edificios.
- Realizar más experimentos para determinar qué tipo de hortalizas pequeñas son las más recomendables para cultivar.
- Realizar un planteamiento económico de implementación de cultivos en terrazas de edificios considerando la propiedad familiar y comunitaria.

6. Referencias

- Abad, M., Martínez, P., Martínez, M., & Martínez, J. (1993). Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas de Horticultura*, 11:141-154.
- Abad, M., Noguera, P., & Carrión, C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo.
- Alimentos y nutrición. (2013). Alimentos y nutrición. Recuperado el Enero de 2014, de http://www.alimentacionynutricion.org/es/index.php?mod=content_detail&id=86
- Almorox, A. (Abril de 2010). Densidad aparente. Recuperado el 9 de 12 de 2013, de Universidad Politecnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-9/ESTIMACION-DE-LA-DENSIDAD-APARENTE.pdf>
- Almorox, J. (2010). Universidad Politecnica de Madrid - Ingeniería Agroforestal. Recuperado el 27 de Noviembre de 2013, de Curso de climatología aplicada a la ingeniería y medio ambiente: http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/Humedad_del_suelo/Balancedhidricodirecto.pdf
- Alonso, E. (sf). Propiedades del Compostaje. Recuperado el 27 de 12 de 2013, de Universidad Autonoma de Madrid: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/3PROPIEDAD ADES.pdf
- Angima, S., & Sullivan, D. (2008). Como evaluar y reducir el peligro del plomo en los huertos. Oregon: Oregon State University.
- Anguelovski, I. (2009). Building the Resiliencie of Vulnerable Communities in Quito: Adapting local food systems to climate change. En World Bank, (2011). *Guide to Climate Change Adaptation in Cities*.
- Asociación Reforesta. (2013). Criterios para dotar de transparencia la compensación de emisiones de CO2 mediante la plantación de arboles.

- Recuperado el 2014, de <http://www.huelladecarbono.org.es/wp-content/uploads/2012/05/C%C3%B3mo-compensar-CO2-de-forma-transparente.pdf>
- Ayers, R., & Westcot, D. (1987). La calidad del agua para agricultura. Estudios FAO: Riegos y Drenajes n° 29 .
- Banco Nacional de Fomento . (1989). Guía Agrícola - Elementos Básicos. Quito: BNF.
- Bannerman, R., Legg, A., & Greb, S. (1996). Quality of Wisconsin stormwater 1989—94. Wisconsin: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-458, 26 p.
- Barrera, S. (1999). Talleres de SIG I. Bogotá: Univesidad Nacional de Colombia: Departamento de Geografía.
- Boodt , M., Verdonck, O., & Cappaert, I. (1974). Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* , 37:2054 - 2062.
- Boodt, M. D. (1975). Caractères physiques et disponibilité en eau des substrats. *Annales de Gembloux* , 81:59-72.
- Boodt, M., & Verdonck, O. (1972). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* , 26: 37-44.
- Bunt, A. (1988). Media and mixes for container-grown plants. Londres: Unwin Hyman Ltd.
- Burés, S. (2001). Manejo de Sustratos. Curso de Gestión de Viveros Forestales . Barcelona, España: BURÉS S.A.
- Burés, S. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros* , 70-79.
- Calvache, M. (Noviembre de 2010). Física de suelos su relación . Recuperado el 9 de 12 de 2012, de XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: <http://www.secsuelo.org/XIICongreso/Plenaria/8.%20Marcelo%20Calvache.%20Fisica%20de%20suelos%20y%20ambiente%20SECS%202010.pdf>
- CESAQ - PUCE. (2013). Consideraciones para el análisis de agua. Quito: PUCE.

- Chacobo, D. (sf). Resumen de Los Origenes de la Civilización. En Redman , C. (1990). Los Origenes de la Civilización. Barcelona, España: Critica .
- Chang, R., & College, W. (2002). Química. Mexico: McGraw Hill.
- CocoPot. (2013). Agroterra Tecnologías Agrarias S.L. Recuperado el 17 de 09 de 2013, de <http://www.agroterra.com/p/kit-sustrato-mesa-cultivo-243l/3091361>
- Comité Nacional sobre el Clima. (2001). Primera Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. En Anguelovski, I. (2009). Building the Resiliencie of Vulnerable Communities in Quito: Adapting local food systems to climate change. Massachusetts. Urban Agriculture Magazine. Pg. 25 – 26. Quito.
- Crosara, A. (2003). El suelo y los problemas ambientales. Recuperado el 24 de 11 de 2013, de Facultad de Ciencias - Universidad de la Republica Uruguay: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Suelos%20y%20problemas%20ambientales.pdf>
- Dirección Metropolitana de Ambiente y Fondo Ambiental. (2008). Quito: estrategias para el Cambio Climático. En Anguelovski, I. (2009). Building the Resiliencie of Vulnerable Communities in Quito: Adapting local food systems to climate change. Massachusetts. Urban Agriculture Magazine. Pg. 25 – 26. Quito.
- Durán, A., Morrás, H., Studdert, G., & Xiaobing, L. (2011). Distribution, properties, land use and management of mollisols in South America. Northeast Institute of Geography and Agroecology , 21 (5) 511-530.
- Durán, G., & Sánchez, A. (2012). Cambio Climático y Derecho a la Alimentación. Madrid: Prosalus.
- Ecuador, G. d. (2003). Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Quito, Ecuador.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2001). Frequently Asked Questions About Atmospheric Deposition. Washington DC.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1990). National Water Quality – Report to Congress. Washington DC.

- EPMMAPS. (2013). Resumen de la calidad de agua en las redes de distribución del DMQ. QUITO.
- Escuela Técnica IPEM 56 Abraham Juarez. (2008). IPEM 56. Recuperado el 10 de 09 de 2013, de <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/institucional.html>
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje , 227-34.
- FAO. (1998). Irrigation and Drainage Papers. NRL.
- FAO. (2012). Land and Water Days – 7 al 11 de Mayo 2012 : Session 9 – Land and water management for urban and periurban agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (sf). Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca. Recuperado el 8 de Noviembre de 2013, de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142S00.pdf>
- Flórez, A. (1997). Geografía y ambientes, enfoques y perspectivas. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Food and Agriculture Organization. (2009). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Roma.
- Food and Agriculture Organization. (2011b). Estado de los recursos de tierras y aguas del mundo. Recuperado el 16 de Enero de 2013, de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/SOLAW%20factsheet-es.pdf
- Food and Agriculture Organization. (2011a). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. Rome and London: Earthscan and FAO.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Naus, T., Peter, T., & Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization . Agricultural and Forest Meteorology , 152.
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). (2004). Meteorología y Climatología. Semana de la Ciencia y la Tecnología , 141.

- Gabioud, E., Wilson, M., & Sasal, M. (2011). Análisis de la estabilidad de agregados por el método de le bissonnais en tres órdenes de suelos. *Ciencia del Suelo* , 11-17.
- García, A. (2012). Criterios modernos para la evaluación de la calidad de agua de riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* , 27-36.
- Gobierno de Chile . (sf). Criterios de calidad de suelos y agua o efluentes tratados para uso riego - Molibdeno. Santiago : Servicio agrícola y ganadero.
- Gobierno de Chile. (sf). Criterios de calidad de suelos y aguas o efluentes tratados para el uso del riego . Santiago: Servicio agrícola y ganadero.
- Gobierno de España. (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Gobierno de la República de Ecuador. (2013). TULAS . Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria . Quito, Ecuador.
- Gobierno del Ecuador, United Nations Develop Program, & Ministerio de Ambiente. (2009). Adaptation to Climate Change through an Effective Governance of Water in Ecuador. En Anguelovski, I. (2009). Building the Resiliencie of Vulnerable Communities in Quito: Adapting local food systems to climate change. *Urban Agriculture Magazine* , 25 - 26.
- Goldberg, A., & Kin, A. (2003). Viento, Suelo y Plantas. Patagonia: Instituto Nacional de Tecnología Agraria (Argentina).
- Gras, R. (1987). Propriétés physiques des substrats. En: Blanc, D. (Ed.). *Les cultures hors sol*. 2^a. ed. Paris: INRA, pp. 79-126.
- Gray, R., & Bebbingto, J. (2006). Contabilidad y Auditoria Ambiental. (A. Mantilla, Trad.) Bogota, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Gutierrez , H., & De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos . Mexico: McGraw Hill.
- Haster, T., & James, W. (1994). Predicting sediment yield in storm-water runoff from urban areas. *Journal of Water Resources Planning and Management* , ASCE 120 (5), 630-650.
- Herdoiza, J. (2013). Informe de agua lluvia - Informe Hidrología. Quito.

- lesjovelanos. (sf). Determinación de cloruros. Recuperado el 15 de 11 de 2013, de http://www.iesjovellanos.com/archivos/Determinacion_de_Cloruros.1173558931.pdf
- IMR. (2007). Ilustre Municipio Del Cantón Rumiñahui. Recuperado el 3 de Junio de 2010, de http://www.ruminahui.gov.ec/ruminahui/index.asp?SEC_INF=RUMINAHUI
- IMR. (2009). Ordenanza De Gestión Ambiental. Recuperado el 2 de Agosto de 2010, de http://www.ruminahui.gov.ec/ambiente/pdf/orde_ges.swf
- INEN. (2011). NTE INEN 1 108:2011 - Agua Potable requisitos. Quito: INEN.
- InfoAgro. (sf). Tipos de sustrato de cultivo. Recuperado el 28 de 12 de 2013, de http://www.abcagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos2.asp
- International Plant Nutritiom Institute. (2009). Aplicaciones de potasio puede ahorrar agua. Recuperado el 29 de 11 de 2013, de [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/C4873584502908EB06256B800067B723/\\$file/LAS+APLICACIONES+DE+POTASIO+PUEDEN+AHORRAR+MUCHA+AGUA.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/C4873584502908EB06256B800067B723/$file/LAS+APLICACIONES+DE+POTASIO+PUEDEN+AHORRAR+MUCHA+AGUA.pdf)
- Jaramillo, D. (2012). Variabilidad espacial de algunas propiedades de un mollisol de clima cálido seco de Antioquia (Colombia). *Agronomía* , 7-17.
- Jimenez, K. (2013). Análisis de agua lluvia - Informe de Hidrología. Quito.
- Kämpf, A., Takane, R., & Vital de Siqueira, P. (2006). Floricultura, Técnicas de preparo de sustratos. Brasilia: LK.
- Leiva, C. (2013). Cátedra de Hidrología - Análisis de agua lluvia. Quito.
- Lemarie, F., Dartigues, A., Riviere, L., & Charpentier, S. (1989). Cultures en pots et en conteneurs. París: INRA, 184 p.
- Madrid, A., & Ortiz, L. (2005). Análisis y síntesis en cartografía: Algunos procedimientos. Bogotá: Siglo del Hombre Editores.
- Mair, A., & Fares, A. (2011). Comparison of Rainfall Interpolation Methods in a Mountainous Region of a Tropical Island. *Journal of Hidrologic Engineering* , 16 (4), 371 - 383.

- Marsalek, J., Maksimovic, C., Zeman, E., & Price, R. (1998). *Hydroinformatics Tools for Planning, Design, Operation and Rehabilitation of Sewer Systems*. Dordrecht, Holanda: KluwerAcademicPublishers.
- Martínez, P., & Roca, D. (2011). Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. En R. Flóres , & V.J. (Ed)., *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. (págs. 37-77). Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Marwane, O. (4 de Marzo de 2009). *Estimación de la radiación global horizontal a partir de la bandas heliográficas*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Meruane, C., & Garreaud, R. (04 de 2006). *Determinación de Humedad en la Atmósfera*. Santiago: Departamento de geofísica: Universidad de Chile.
- Monkhouse, F. (1978). *Diccionario de términos geográficos*. Barcelona: Oikos-Tau.
- Monkhouse, F., & Wilkinson, H. (1966). *Mapas y diagramas*. Barcelona: Oikos-Tau.
- Montt, J. (2000). *Antecedentes Empíricos y Modelación de la Calidad de Aguas Lluvias Urbanas*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Moreno, J., & Moral, R. (2007). *Compostaje*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Mougeot, L. J. (1999). *Agricultura Urbana: definición, presencia, potencialidades y riesgos*. En DSE, & ZEL, *Ciudades en Crecimiento Cultivando Alimentos* (pág. 43). PGU-ALC/CNUAH/HABITAT.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente. (2009). *Estrategia Quiteña al Cambio Climático* . Quito, Ecuador.
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Secretaria de Ambiente. (2009). *Estrategia quiteña al cambio climático*. Quito.
- Natural Resources Conservation Service. (Mayo de 2001). *Rangeland Soil Quality—Infiltration*. Washington, EEUU: NRCS.
- Natural Resources Conservation Service. (05 de 2006). *Soils - Fundamental Concepts*. Recuperado el 16 de 09 de 2013, de <http://urbanext.illinois.edu/soil/concepts/concepts.pdf>

- Nimbus Weather Services. (2001). Nimbus Weather Services. Recuperado el 10 de 09 de 2013, de Capitulo 2: Meteorología: <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap2.pdf>
- Nimbus Weather Services. (2011). Nimbus Weather Services. Recuperado el 10 de 10 de 2013, de Capitulo 7: El viento: <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>
- Normas Europeas, 1. (2006). 12574.
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. New York: ONU.
- Patrón, J., & Pineda, J. (2010). Sustrato Orgánicos: Elaboración, manejo y principales usos. Primer curso nacional de sustratos, (pág. 6). Texcoco.
- Pelayo, J. (23 de 11 de 2011). Meteorología para todos. Recuperado el 2013 de 09 de 10, de <http://ojaizmet.blogspot.com/2011/11/la-estacion-meteorologica-ii.html>
- Pérez, S. (2011). Análisis de crecimiento y comportamiento de los nutrientes en clavel (*Dianthus caryophyllus*) variedad Delphi en un sistema de cultivo en sustrato en la sabana de Bogotá. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Puustjarvi, V., & Robertson, R. (1975). Physical and chemical properties. Peat in horticulture. Academic Press , 23-40.
- Real Academia Española. (2001). Diccionario de la Lengua Española. Madrid: Espasa.
- Reitec. (sf). Servicios de Ingeniería. Recuperado el 30 de 11 de 2013, de <http://www.reitec.es/web/descargas/agua01.pdf>
- Röber, R. (2000). Gärtnerische Substrate: Möglichkeiten und grenzen.
- Rubin, K. (2002). Ask an earth scientist . Recuperado el 2 de 12 de 2013, de Effect of acid rain on plants: <http://www.soest.hawaii.edu/GG/ASK/acidrain4.html>
- Rubio, J. (2004). Métodos de Evaluación de Riesgos Laborales. Madrid, España: Díaz de Santo, S.A.

- Secretaría de Ambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2012). Plan de Acción Climático de Quito. Quito.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2012). Cities and Biodiversity Outlook. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Silva, A. (19 de Junio de 2013). La materia orgánica del suelo. Recuperado el 27 de 12 de 2013, de <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/Materia%20Organica/organica.pdf>
- Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. (08 de 1986). Mapa General de Suelos del Ecuador. Quito, Ecuador: IGM.
- Soil Survey Staff, U. (2010). Keys to Soil Taxonomy (11 th. Ed.). United State Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- U.S. Department of Agriculture. (1990). Hydrology training series - Modulo 102: Precipitations. Washington DC: Soil Conservation Service.
- UN-Habitat, Earthscan. (2011). Informe Mundial sobre Asentamientos Humanos 2011, Las ciudades y el Cambio Climático: Orientaciones para políticas. Londres & Washington: Acerto.
- Universidad Nacional del Nordeste . (1974). Órdenes, subórdenes y grandes grupos de suelos según el Soil Taxonomy . Recuperado el 26 de 12 de 2013, de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/comunicacion/documentos/prointal/suelos.doc>
- Universidad y Tecnología. (sf). Caracterización Bioquímica y Fisicoquímica del humus producido por lombrices rojas. Recuperado el 26 de 12 de 2013, de http://seia.sea.gob.cl/archivos/c99_humus_de_lombriz.pdf
- US Department of Agriculture. (2013). Natural Resources Conservation Service. Recuperado el 16 de 09 de 2013, de <http://soils.usda.gov/education/resources/lessons/profile/>

- Valenzuela, T. (11 de 12 de 2004). Colección de Tesis Digitales. Recuperado el 1 de 12 de 2013, de Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/valenzuela_m_td/capitulo3.pdf
- Valiron, F., & Tabuchi, J. (1992). *Maîtrise de la pollution urbaine par temps de pluie: état de l'art*. Paris. Francia: Tec & Doc-Lavoisier.
- White, J. (1974). Criteria for selection of growing media for greenhouse crops. *Florists' Review* , 155(4009):28-30, 73-75.
- Wilson, M., Sasal, M., & Caviglia, O. (2008). Densidad de suelo crítica para la productividad de un molisol y un vertisol . Semiárido: un desafío para la ciencia del suelo (pág. 4). Potrero de los funes: Asociación Argentina de Ciencia del Suelo.
- World Bank. (2011). *Guide to Climate Change Adaptation in Cities*. Washington: WB.
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to Climatological Practices: WMO-No.100*. Ginebra: WMO.
- Worldbank , & FAO. (2008). *Urban Agriculture For Sustainable Poverty Alleviation and Food Security*. Washington: World Bank and Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Zaar, M. (2011). *Agricultura Urbana: Algunas reflexiones sobre su origen e importancia actual*. Recuperado el 13 de Enero de 2013, de <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-944.htm>

7. Anexos

7.1. Numero de día en el año J

Día	Enero	Febrero	Marzo*	Abril*	Mayo*	Junio*
1	1	32	60	91	121	152
2	2	33	61	92	122	153
3	3	34	62	93	123	154
4	4	35	63	94	124	155
5	5	36	64	95	125	156
6	6	37	65	96	126	157
7	7	38	66	97	127	158
8	8	39	67	98	128	159
9	9	40	68	99	129	160
10	10	41	69	100	130	161
11	11	42	70	101	131	162
12	12	43	71	102	132	163
13	13	44	72	103	133	164
14	14	45	73	104	134	165
15	15	46	74	105	135	166
16	16	47	75	106	136	167
17	17	48	76	107	137	168
18	18	49	77	108	138	169
19	19	50	78	109	139	170
20	20	51	79	110	140	171
21	21	52	80	111	141	172
22	22	53	81	112	142	173
23	23	54	82	113	143	174
24	24	55	83	114	144	175
25	25	56	84	115	145	176
26	26	57	85	116	146	177
27	27	58	86	117	147	178
28	28	59	87	118	148	179
29	29	(60)	88	119	149	180
30	30	-	89	120	150	181
31	31	-	90	-	151	-

* añadir 1 en caso de año bisiesto

Día	Julio*	Agosto*	Septiembre*	Octubre*	Noviembre*	Diciembre*
1	182	213	244	274	305	335
2	183	214	245	275	306	336
3	184	215	246	276	307	337
4	185	216	247	277	308	338
5	186	217	248	278	309	339
6	187	218	249	279	310	340
7	188	219	250	280	311	341
8	189	220	251	281	312	342
9	190	221	252	282	313	343
10	191	222	253	283	314	344
11	192	223	254	284	315	345
12	193	224	255	285	316	346
13	194	225	256	286	317	347
14	195	226	257	287	318	348
15	196	227	258	288	319	349
16	197	228	259	289	320	350
17	198	229	260	290	321	351
18	199	230	261	291	322	352
19	200	231	262	292	323	353
20	201	232	263	293	324	354
21	202	233	264	294	325	355
22	203	234	265	295	326	356
23	204	235	266	296	327	357
24	205	236	267	297	328	358
25	206	237	268	298	329	359
26	207	238	269	299	330	360
27	208	239	270	300	331	361
28	209	240	271	301	332	362
29	210	241	272	302	333	363
30	211	242	273	303	334	364
31	212	243	-	304	-	365

7.2. Especies vegetales que se deben considerar para cultivos urbanos (Hortalizas pequeñas).

Cultivo	Profundidad radicular máxima ¹ (m)	Fracción de agotamiento ² (para ET = 5 mm día ⁻¹) p	
a. Hortalizas Pequeñas			
Brócoli	0,4-0,6	0,45	
Col de Bruselas	0,4-0,6	0,45	
Repollo	0,5-0,8	0,45	
Zanahorias	0,5-1,0	0,35	
Coliflor	0,4-0,7	0,45	
Apio (Céleri)	0,3-0,5	0,20	
Ajo	0,3-0,5	0,30	
Lechuga	0,3-0,5	0,30	
Cebolla	- seca - verde - semilla	0,3-0,6 0,3-0,6 0,3-0,6	0,30 0,30 0,35
Espinaca	0,3-0,5	0,20	
Rábano	0,3-0,5	0,30	
b. Hortalizas – Familia de la Solanáceas			
Berenjena	0,7-1,2	0,45	
Pimiento Dulce (campana)	0,5-1,0	0,30	
Tomate	0,7-1,5	0,40	
c. Hortalizas – Familia de las Cucurbitáceas			
Melón	0,9-1,5	0,45	
Pepino	- cosechado fresco - cosechado a máquina	0,7-1,2 0,7-1,2	0,50 0,50
Calabaza de Invierno	1,0-1,5	0,35	
Calabacín (zucchini)	0,6-1,0	0,50	
Melón dulce	0,8-1,5	0,40	
Sandía	0,8-1,5	0,40	
d. Raíces y Tubérculos			
Remolacha, mesa	0,6-1,0	0,50	
Yuca o Mandioca	- año 1 - año 2	0,5-0,8 0,7-1,0	0,35 0,40
Chirivía	0,5-1,0	0,40	
Papa o patata	0,4-0,6	0,35	
Camote o Batata	1,0-1,5	0,65	
Nabos (y Rutabaga)	0,5-1,0	0,50	
Remolacha Azucarera	0,7-1,2	0,55 ³	

¹ Los valores mayores de Z, son para suelos que no posean capas u otras características que puedan restringir el desarrollo radicular. Los valores menores de Z, pueden ser usados para calendarios de riego y los valores mayores para simular condiciones de estrés hídrico o para condiciones de cultivos de secano.

² Los valores de p son válidos para ET_c = 5 mm día⁻¹. El valor de p puede ser ajustado para diferentes valores de ET_c de acuerdo a la siguiente expresión:

$$p = p_{(ET_c=5)} + 0,04 (5 - ET_c)$$

donde p está expresado como una fracción y ET_c en mm día⁻¹.

³ Con frecuencia la remolacha azucarera experimenta cierto marchitamiento al final de la tarde en climas áridos y con valores de p < 0,55, con poco impacto en la producción de azúcar.

7.3. Datos meteorológicos empleados

Precipitación promedio

ID	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Di
1	M358	CALACALI INAMHI	776854	9999880	2810	94,7	109,8	149,2	146,4	78,9	25,7	19,0	16,8	45,7	70,0	81,5	
2	M361	NONO	769748	9992833	2710	88,0	94,8	137,1	155,4	98,5	37,6	21,6	20,2	47,6	76,7	72,5	
3	M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	785464	9999105	2430	35,0	46,0	60,0	69,6	50,0	16,4	7,4	9,3	29,0	48,1	37,8	
4	M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060	31,0	44,8	48,8	69,2	41,7	16,3	7,1	10,2	32,5	45,2	46,3	
5	M341	GUAYLLABAMBA	795832	9993791	2150	39,3	41,5	72,8	78,6	58,6	20,2	13,1	13,2	35,6	61,7	50,2	
6	M343	EL QUINCHE- PICHINCHA	801004	9986991	2605	36,6	48,1	67,0	77,9	44,6	16,5	9,4	8,1	28,8	52,6	45,3	
7	M345	CALDERON	786815	9989089	2690	50,0	60,6	78,5	85,8	55,1	20,2	6,8	8,6	42,9	63,2	57,7	
8	M347	PUEMBO	794333	9980821	2460	54,4	77,4	108,7	110,6	73,0	28,5	13,7	15,9	58,6	101,9	89,4	
9	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	69,2	78,3	118,5	119,3	73,7	28,2	12,4	19,2	59,0	109,4	106,9	
10	M114	TUMBACO	788222	9976295	2350	78,0	99,5	140,8	138,0	83,6	32,4	15,7	22,0	75,7	109,2	112,0	
11	M572	CUMBAYA	786767	9978766	2370	82,1	133,7	134,8	155,8	101,7	50,7	14,8	29,4	81,7	126,5	132,0	
12	M055	QUITO AEROPUERTO- DAC	779273	9984243	2811	80,6	101,6	139,3	148,3	94,3	38,5	16,7	19,4	60,0	100,1	94,4	

13	M342	COTOCOLLAO	778807	9987139	2870	56,9	63,5	103,0	129,1	84,1	35,5	23,1	18,8	57,6	81,4	76,6
14	M357	CANAL 10 TV.	775467	9981398	3780	124,5	149,4	191,0	213,8	126,6	44,8	23,5	26,3	84,7	134,2	142,0
15	M913	HDA MI CIELO(PV18)	777192	9981653	3173	78,2	126,9	143,8	137,2	109,1	40,1	27,2	35,6	76,9	108,5	98,8
16	M356	CANAL 4 TV.	776130	9981424	3500	128,8	132,6	173,4	216,9	118,2	30,7	35,1	39,0	99,5	127,3	124,9
17	M606	QUITO- U.CENTRAL	777645	9977792	2870	109,1	131,1	108,9	191,7	109,4	52,6	15,0	31,6	80,9	137,3	150,6
18	M054	QUITO- OBSERVATORI O	777903	9976198	2820	91,8	123,0	148,9	174,2	113,0	43,8	24,6	34,9	91,8	139,1	114,0
19	M335	LA CHORRERA	775086	9977140	3165	111,1	139,4	190,3	196,7	144,2	55,7	24,5	48,8	76,6	149,1	159,3
20	M354	SAN JUAN- PICHINCHA (CHILLOG.)	764350	9968291	3440	230,9	256,4	277,0	309,3	247,7	157,2	81,3	101,2	160,4	228,8	223,5
21	M118	INIAP- SUPLEMENTARI A PORCINOS	777651	9959418	2650	184,0	153,6	198,7	238,7	156,5	59,4	29,6	38,0	90,9	149,4	153,3
22	M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520	88,7	161,0	196,6	217,8	119,8	48,3	18,5	49,3	138,0	204,0	138,3
23	M116	CHIRIBOGA	746616	9976441	1780	444,9	412,5	470,5	512,0	354,8	209,3	116,5	114,1	194,8	230,1	215,4
24	M352	SANGOLQUI	785151	9962637	2480	200,6	179,1	258,9	260,7	199,3	43,6	34,4	32,9	115,2	229,2	160,0
25	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	131,7	155,7	183,2	196,0	147,4	69,4	30,8	38,2	86,6	135,0	145,1

26	M024	QUITO INAMHI-INNAQUITO	779647	9980274	2789	83,5	111,6	148,2	158,6	102,9	39,0	21,7	25,4	69,8	112,0	101,6
27	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	64,77	78,72	85,75	145,25	67,62	34,05	27,25	16,17	33,48	55,48	67,14
28	CAR	CARAPUNGO	784112	9988625	2660	60,44	76,88	90,52	112,60	73,10	29,85	19,60	14,70	24,07	39,38	67,56
29	BEL	BELSARIO	778682	9979390	2835	83,73	137,30	149,80	213,82	103,22	35,72	44,92	34,63	43,32	105,35	125,44
30	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	120,01	114,23	118,82	228,48	123,96	54,74	39,52	35,73	61,63	145,27	150,83
31	TUM	TUMBACO	789050	9976217	2331	53,24	85,98	88,92	106,68	54,33	33,03	29,18	25,88	30,52	84,53	84,59
32	LCH	LOS CHILLOS	783187	9967008	2453	136,90	104,10	151,07	223,03	89,02	59,17	30,17	31,17	68,27	176,23	156,63
33	GUA	GUAMANI	772313	9963087	3066	132,08	159,63	192,95	257,08	117,78	64,25	70,88	58,53	63,07	150,96	112,76

Temperatura media

ID	Código	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	DI
1	M115	SAN ANTONIO DE PICHINCHA	785464	9999105	2430	15,72	15,66	15,87	15,88	15,84	15,80	15,58	15,93	16,04	15,70	15,62	
2	M210	VINDOBONA	788069	9999016	2060	17,39	17,50	17,73	17,66	17,84	18,25	18,17	18,59	18,04	17,81	17,71	
3	M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	15,54	15,62	15,62	15,65	15,65	15,68	15,54	15,73	15,68	15,51	15,48	
4	M114	TUMBACO	788222	9976295	2350	16,86	16,84	16,97	16,80	16,91	16,70	16,26	16,47	16,66	16,73	16,78	
5	M055	QUITO AEROPUERTO-DAC	779273	9984243	2811	13,54	13,57	13,55	13,53	13,72	13,61	13,63	13,81	13,66	13,44	13,32	

6	M606	QUITO- U.CENTRAL	777645	9977792	2870	13,72	13,56	13,46	13,32	13,84	13,43	13,91	13,85	13,80	13,32	13,09
7	M054	QUITO- OBSERVATORIO	777903	9976198	2820	13,62	13,57	13,77	13,66	13,88	13,68	13,74	13,85	13,82	13,38	13,25
8	M118	INIAP- SUPLEMENTARIA PORCINOS	777651	9959418	2650	14,27	14,19	14,17	14,20	14,19	14,25	14,20	14,54	14,38	14,21	14,30
9	M024	QUITO INAMHI- INNAQUITO	779647	9980274	2789	14,73	14,72	14,60	14,77	14,96	15,18	15,16	15,48	15,38	14,89	14,70
10	M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	11,83	11,85	11,88	11,92	11,97	11,87	11,51	11,83	11,83	11,87	11,81
11	M112	CONOCOTO	781176	9967384	2520	15,65	15,51	15,65	15,62	15,58	15,88	15,48	15,50	15,60	15,57	15,54
12	M116	CHIRIBOGA	746616	9976441	1780	16,27	16,43	16,49	16,57	16,53	16,20	15,97	15,98	16,11	16,36	16,26
12	COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	13,72	13,43	13,64	13,52	13,96	13,73	13,80	13,75	14,09	13,45	13,41
13	CAR	CARAPUNGO	784112	9988625	2660	14,50	14,28	14,46	14,24	14,61	14,39	14,48	14,47	14,76	14,18	14,19
14	BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	13,92	13,51	13,64	13,34	13,86	13,93	13,98	14,01	14,26	13,48	13,36
15	CAM	EL CAMAL	776411	9972178	2840	13,98	13,61	13,78	13,67	14,22	14,23	14,27	14,18	14,36	13,64	13,40
16	TUM	TUMBACO	789050	9976217	2331	16,27	15,89	16,06	15,88	16,13	15,85	15,83	15,89	16,26	15,89	15,74
17	CHI	LOS CHILLOS	783187	9967008	2453	15,42	15,01	15,08	14,84	15,28	15,08	15,30	15,64	15,79	15,23	14,80

Temperatura máxima absoluta

Cód.	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Novi
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	29,50	28,00	27,80	26,60	27,50	27,30	27,20	29,50	28,80	27,90	27,90
M024	INNAQUITO	779647	9980274	2789	27,30	30,00	27,00	27,40	26,20	26,00	26,20	29,50	26,60	27,00	27,00

M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	23,70	22,80	22,30	22,80	22,70	22,20	22,50	23,80	23,80	23,10	2:
COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	21,25	21,04	21,49	21,30	21,78	21,39	21,43	21,67	22,45	22,16	2:
BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	21,69	21,42	21,40	20,98	21,78	21,33	21,11	21,28	22,18	21,72	2:
CAMI	EL CAMAL	776411	9972178	2840	21,38	21,32	21,41	21,58	21,66	21,70	21,40	21,21	22,21	21,74	2:
M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	32,00	30,30	29,80	30,50	30,00	30,00	30,00	31,00	34,00	32,00	3:
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	32,00	30,30	29,80	30,50	30,00	30,00	30,00	31,00	34,00	32,00	3:
M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	26,60	27,20	27,80	27,00	27,20	26,50	29,60	27,00	27,00	27,00	2:
M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	28,40	28,60	28,80	29,20	30,50	30,60	30,00	31,00	30,50	30,00	2:
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	32	30,3	29,8	30,5	30,5	30,6	30	31	34	32	

Temperatura mínima absoluta

Cód.	Estación	X (m.)	Y (m.)	Altura (msnm)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	3,50	4,00	4,90	5,00	4,80	4,00
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	0,00	0,00	1,00	0,00	0,30	0,00
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	0,00	4,70	5,10	0,00	2,50	3,00
M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	11,00	11,00	10,70	11,00	10,00	8,40
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	8,40	8,20	7,20	9,30	9,00	8,00
M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	11,30	11,20	12,20	11,20	8,60	11,00
M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	5,5	6,6	5,5	1,6	4,5	3,5
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	11,4	12,1	11,4	12,1	10,2	11,1

Heliofanía promedio

Cód.	Estación	Altura	X (m.)	Y (m.)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	6,04	5,52	4,64	4,81	5,31	6,34	7,26
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	5,15	4,64	3,96	4,28	4,72	5,86	6,65
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	5,47	4,99	4,40	4,72	5,07	6,05	6,84

Radiación solar promedio

Cód.	Estación	Altura	X (m.)	Y (m.)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	5168,6	3536,6	3979,4	3603,7	4761,8	4466,9	484
BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	5236,6	3736,8	3986,9	3526,3	4254,7	4194,7	464
CAMI	EL CAMMAL	776411	9972178	2840	5328,5	3720,9	4116,8	3581,2	4181,0	4113,6	451

Velocidad promedio del viento

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	3,70	3,80	3,80	3,40	3,80	6,80	7
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	1,80	1,50	1,60	1,40	1,60	1,80	2
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	3,00	3,00	2,90	2,90	2,80	2,90	3
COT	COTOCOLLAO	778295	9987764	2793	1,51	1,57	1,52	1,48	1,55	1,75	1
BEL	BELISARIO	778682	9979390	2835	1,67	1,68	1,59	1,59	1,73	1,88	2
CAMI	EL CAMMAL	776411	9972178	2840	1,61	1,60	1,52	1,45	1,53	1,58	1

Dirección más frecuente del viento

Código	Estación	X	Y	Altura	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
BEL	Belisario	778682	9979390	2835	SE	SE	S	SE	S	S	SO	S	S	SE	SE	SE
CAM	Camal	776411	9972178	2840	E	E	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE	SE
COT	Cotocollao	778295	9987764	2793	N	N	E	E	E	E	SE	SE	SE	N	N	N
M024	Iñaquito	779647	9980274	2789	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
M002	Tola	793124	9974615	2479	N	N	N	N	N	SE	SE	SE	SE	N	N	N
M003	Izobamba	772119	9959514	3052	E	E	E	E	E	E	S	E	E	E	E	E

Evapotranspiración de referencia

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	138,57	101,72	97,41	84,94	95,18	135,42
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	79,68	63,00	56,86	53,67	54,92	59,60
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	95,36	63,30	59,38	71,76	63,76	62,67
M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	83,95	81,63	93,04	89,34	89,97	87,41
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	70,05	63,76	73,90	72,18	74,71	71,34
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	70,70	66,30	75,31	73,07	75,81	70,36
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	69,61	63,78	72,05	68,70	70,62	66,38
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	74,23	67,87	78,38	76,50	78,66	73,63

Balance Hídrico

Precipitación

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	69,20	78,27	118,54	119,28	73,68	28,20
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	131,72	155,72	183,17	195,99	147,39	69,44
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	83,55	111,58	148,23	158,55	102,86	38,97

M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	340,81	390,88	387,39	365,29	191,79	75,86
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	88,35	108,92	129,76	109,25	55,88	16,68
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	362,90	368,62	359,12	464,23	269,72	95,65
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	43,30	47,29	62,90	78,49	55,87	21,76
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	319,91	289,94	305,06	283,97	197,77	66,60

P - ETO

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	-69,37	-23,46	21,13	34,34	-21,50	-107,23
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	52,04	92,72	126,31	142,31	92,47	9,84
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	-11,82	48,28	88,85	86,79	39,10	-23,70
M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	256,86	309,25	294,35	275,94	101,82	-11,55
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	18,30	45,16	55,86	37,07	-18,83	-54,66
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	292,20	302,32	283,80	391,17	193,91	25,29
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	-26,30	-16,49	-9,15	9,80	-14,75	-44,63
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	245,68	222,08	226,68	207,47	119,11	-7,03

Reserva

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	0,00	0,00	21,13	55,47	33,98	0,00
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	87,51	100,00	100,00	100,00	100,00	76,30
M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	88,45
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	18,30	63,46	100,00	100,00	81,17	26,51
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	0,00	0,00	0,00	9,80	0,00	0,00

M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	92,97
------	--------------	--------	---------	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	-------

Variación de la reserva

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	0,00	0,00	21,13	34,34	-21,50	-33,98
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M024	ÑAQUITO	779647	9980274	2789	-11,82	12,49	0,00	0,00	0,00	-23,70
M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	26,47	0,00	0,00	0,00	0,00	-11,55
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	18,30	45,16	36,54	0,00	-18,83	-54,66
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	0,00	0,00	0,00	9,80	-9,80	0,00
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	25,51	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,03

Evapotranspiración real

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	69,20	78,27	97,41	84,94	95,18	62,17
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	79,68	63,00	56,86	53,67	54,92	59,60
M024	ÑAQUITO	779647	9980274	2789	95,36	63,30	59,38	71,76	63,76	62,67
M209	ALLURIQUIN INECCEL	722417	9964216	805	83,95	81,63	93,04	89,34	89,97	87,41
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	70,05	63,76	73,90	72,18	74,71	71,34
M212	MINDO INECCEL	748054	9994643	1235	70,70	66,30	75,31	73,07	75,81	70,36
M214	PERUCHO INECCEL	786881	10012134	1830	43,30	47,29	62,90	68,70	65,66	21,76
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	74,23	67,87	78,38	76,50	78,66	73,63

Falta

Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	69,37	23,46	0,00	0,00	0,00	73,25
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	26,30	16,49	9,15	0,00	4,96	44,63
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Excedente

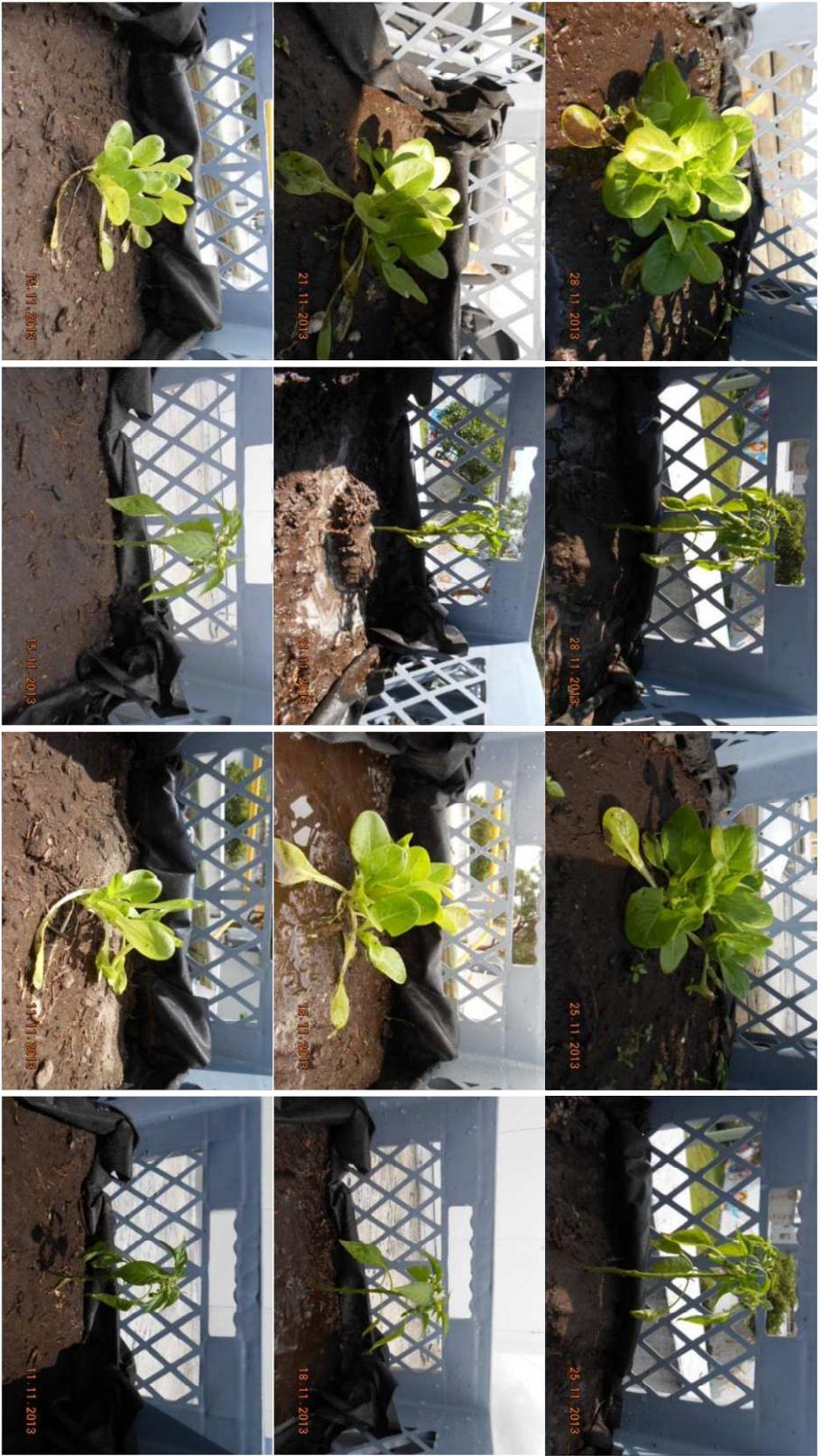
Código	Estación	X	Y	Altura (m)	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
M002	LA TOLA	793124	9974615	2479	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M003	IZOBAMBA	772119	9959514	3052	52,04	92,72	126,31	142,31	92,47	9,84
M024	IÑAQUITO	779647	9980274	2789	0,00	35,79	88,85	86,79	39,10	0,00
M209	ALLURIQUIN INECEL	722417	9964216	805	230,39	309,25	294,35	275,94	101,82	0,00
M211	LA VINNA DE CHESPI	775294	10015404	1500	0,00	0,00	19,32	37,07	0,00	0,00
M212	MINDO INECEL	748054	9994643	1235	292,20	302,32	283,80	391,17	193,91	25,29
M214	PERUCHO INECEL	786881	10012134	1830	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M198	PALO QUEMADO	730866	9958774	1260	220,17	222,08	226,68	207,47	119,11	0,00

7.4. Registro Fotográfico de los cultivos.

7.4.1. Unidad experimental - Cotocollao (Centro de Desarrollo Comunitario)

Tratamiento 1







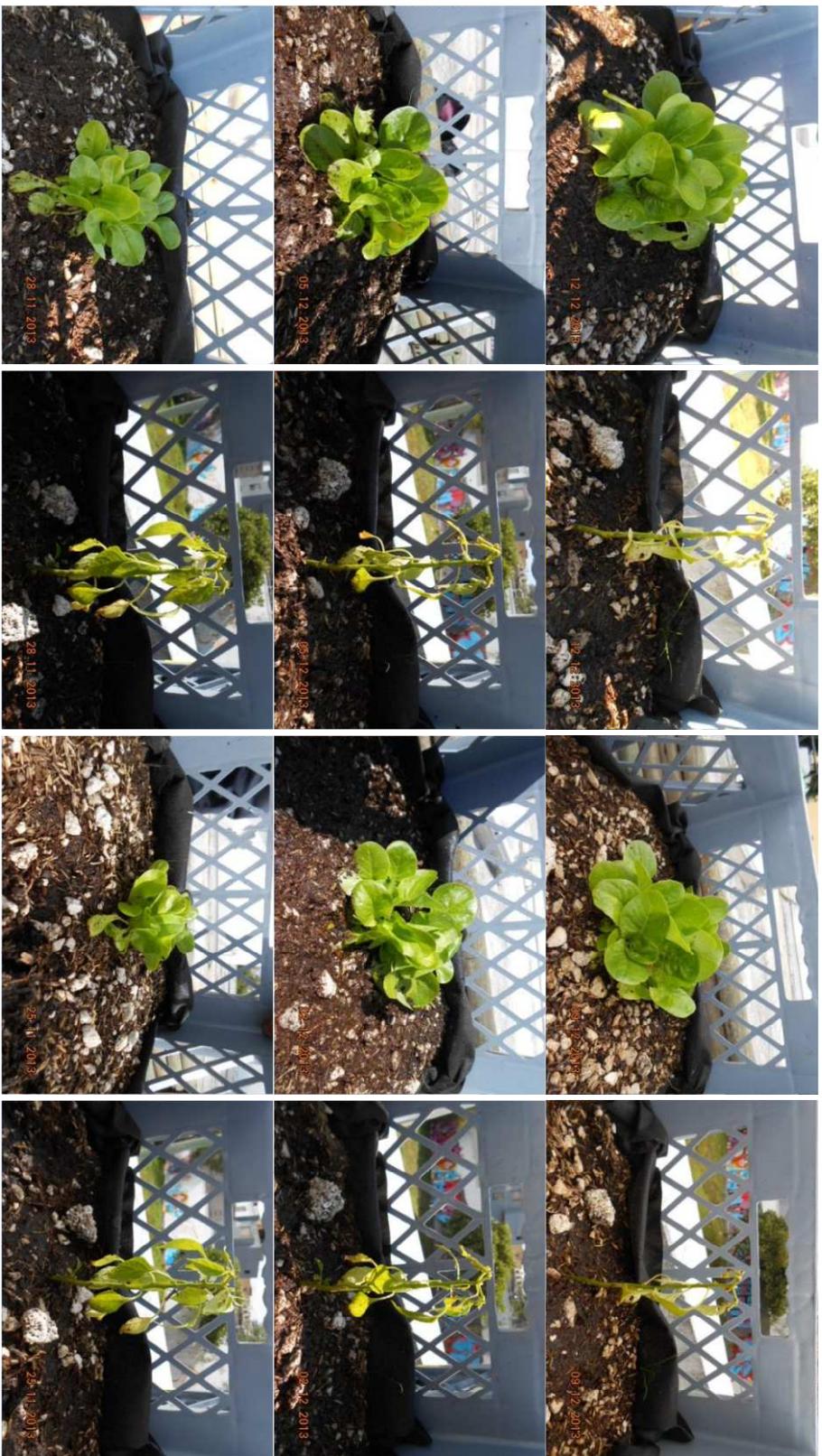
Tratamiento 2

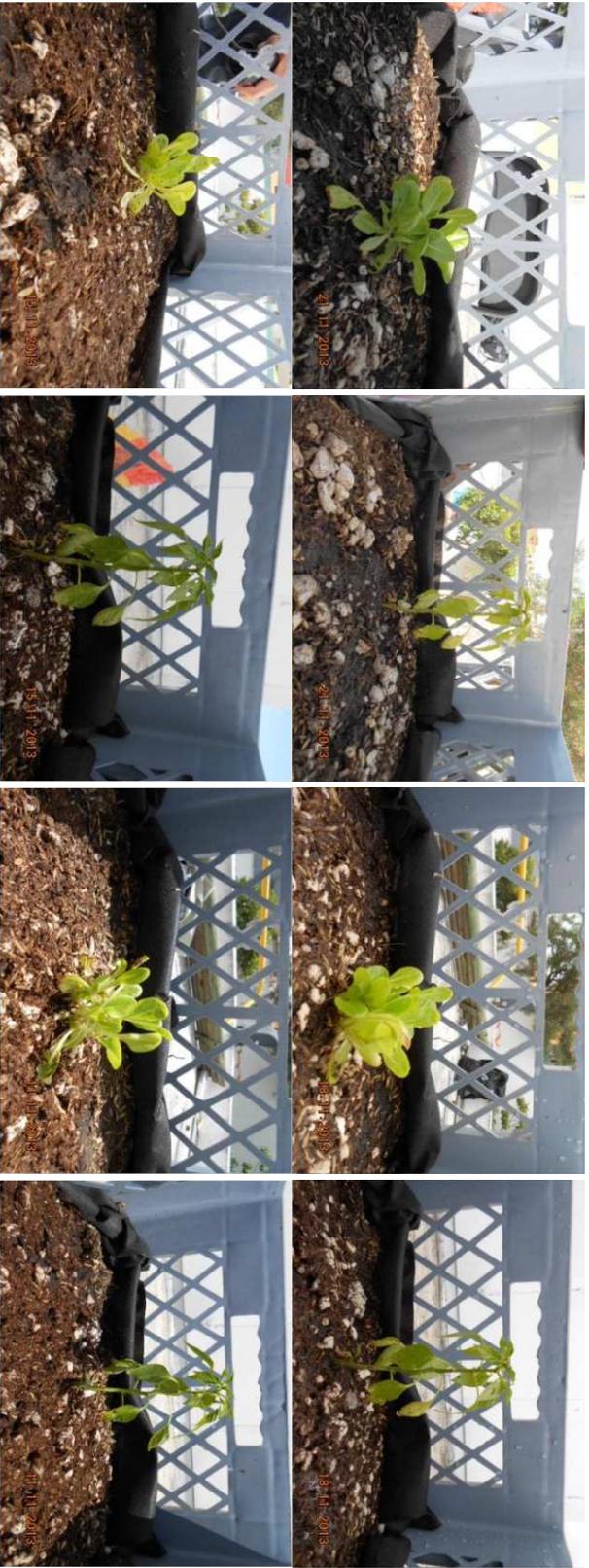






Tratamiento 3

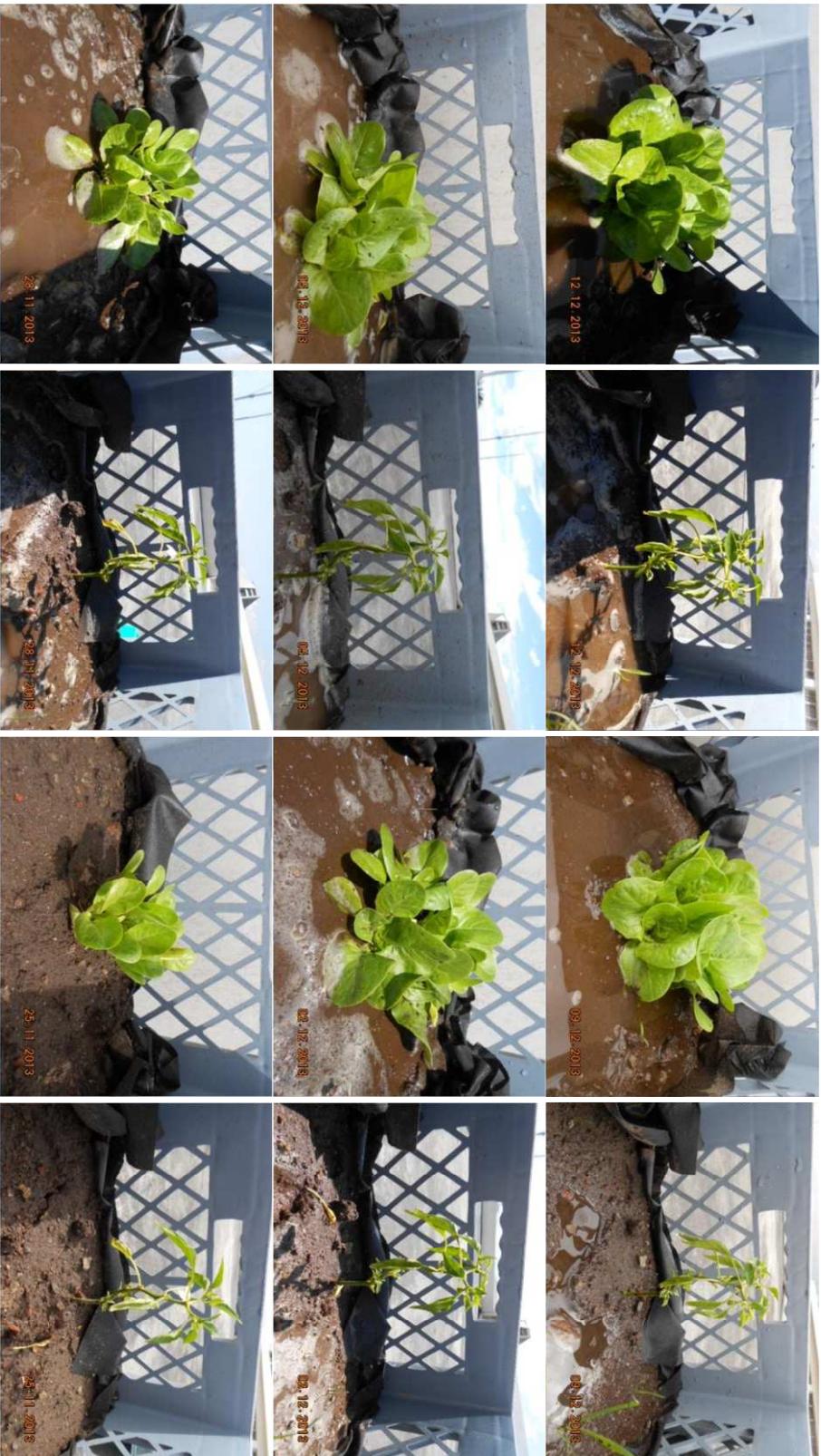


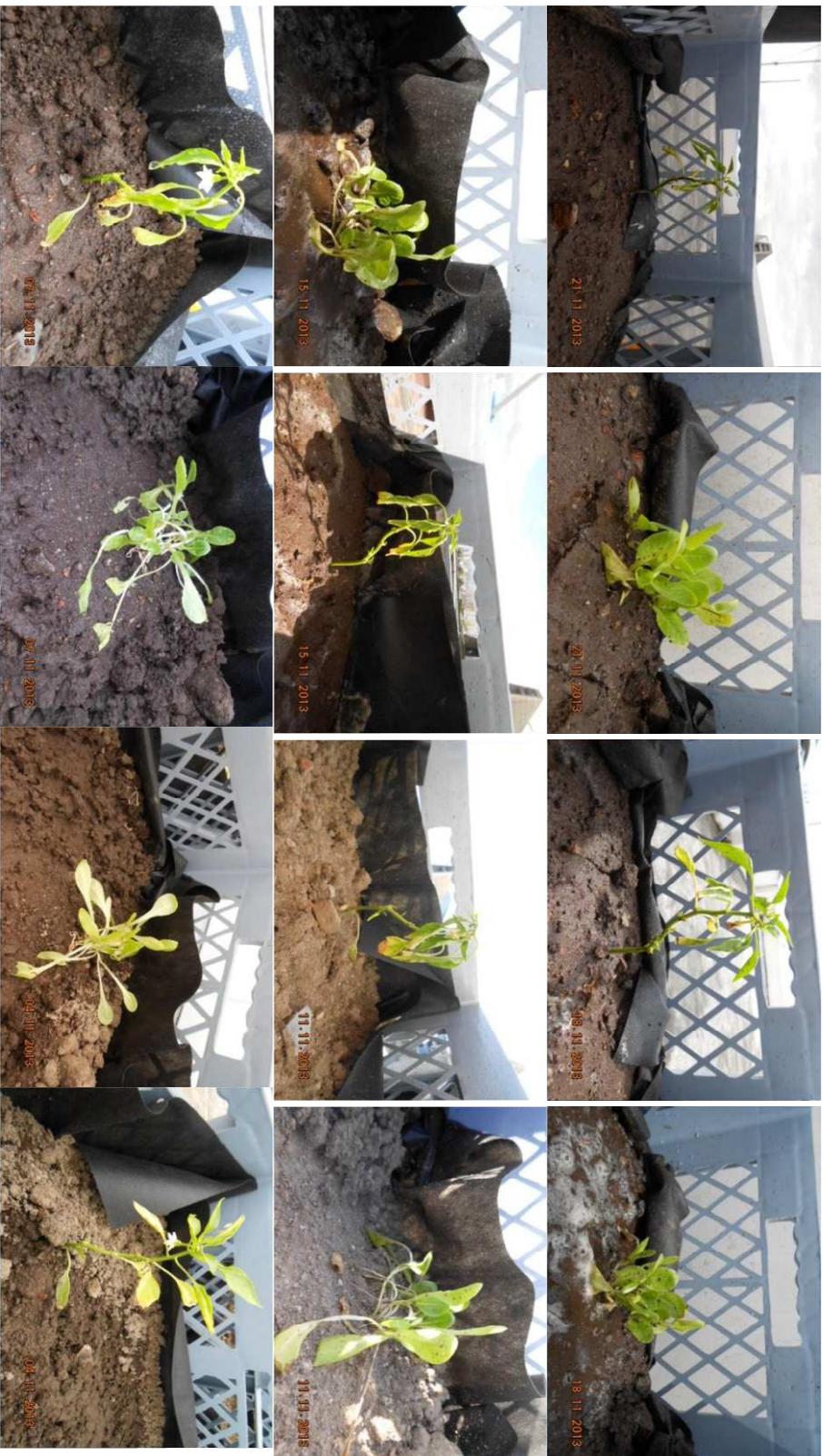




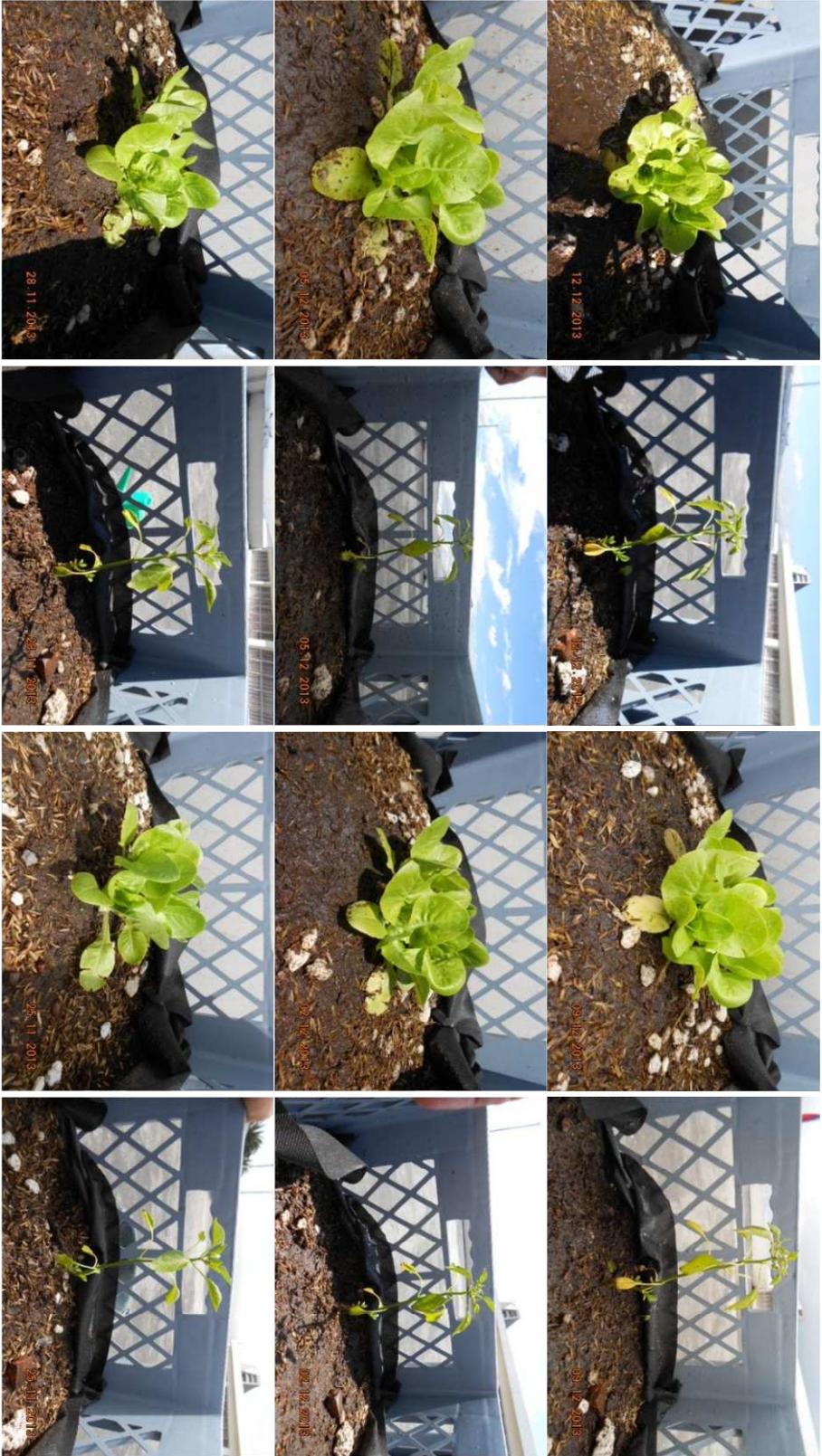
7.4.2. Unidad experimental - Belisario (Colegio San Gabriel)

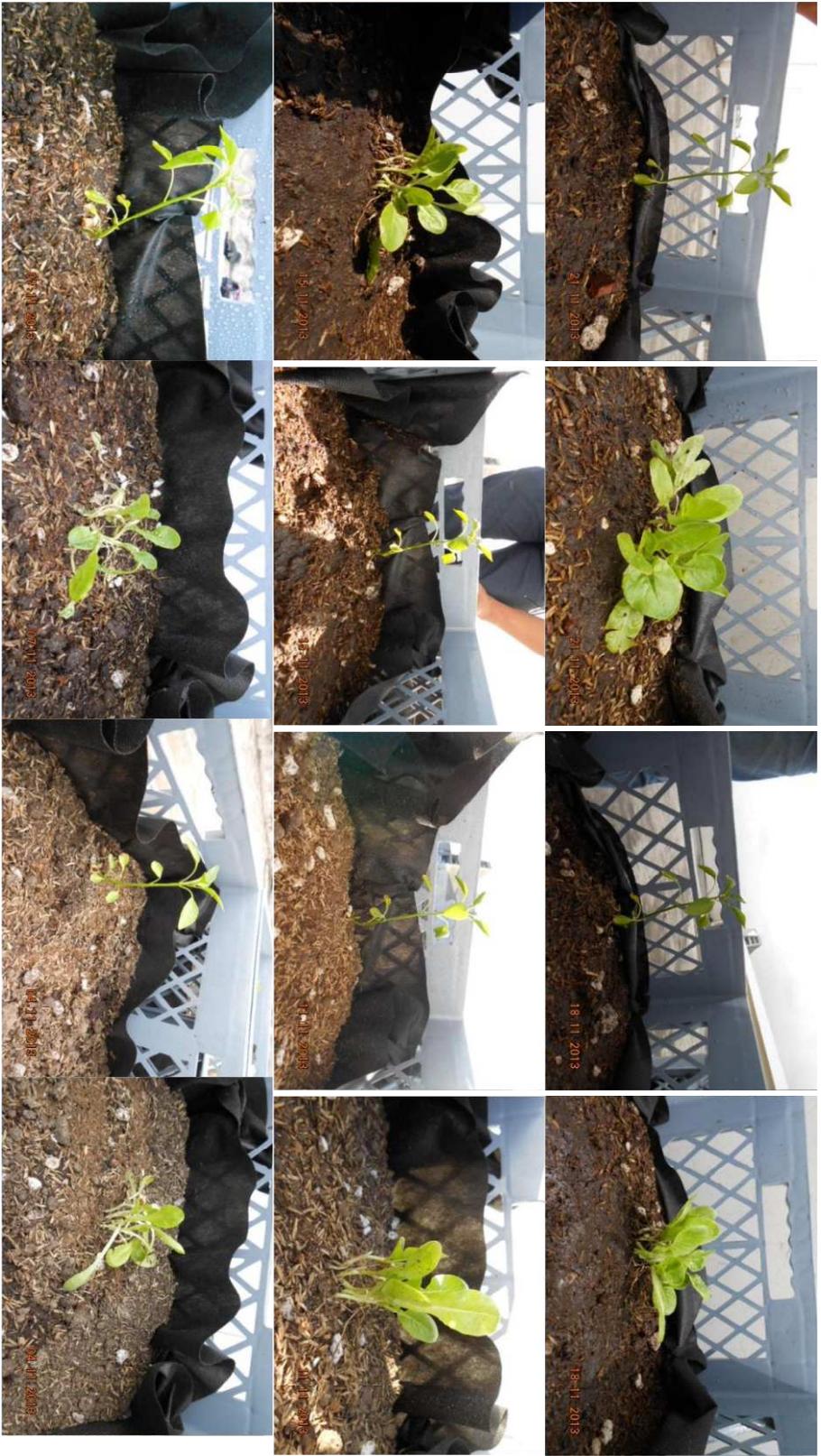
Tratamiento 1





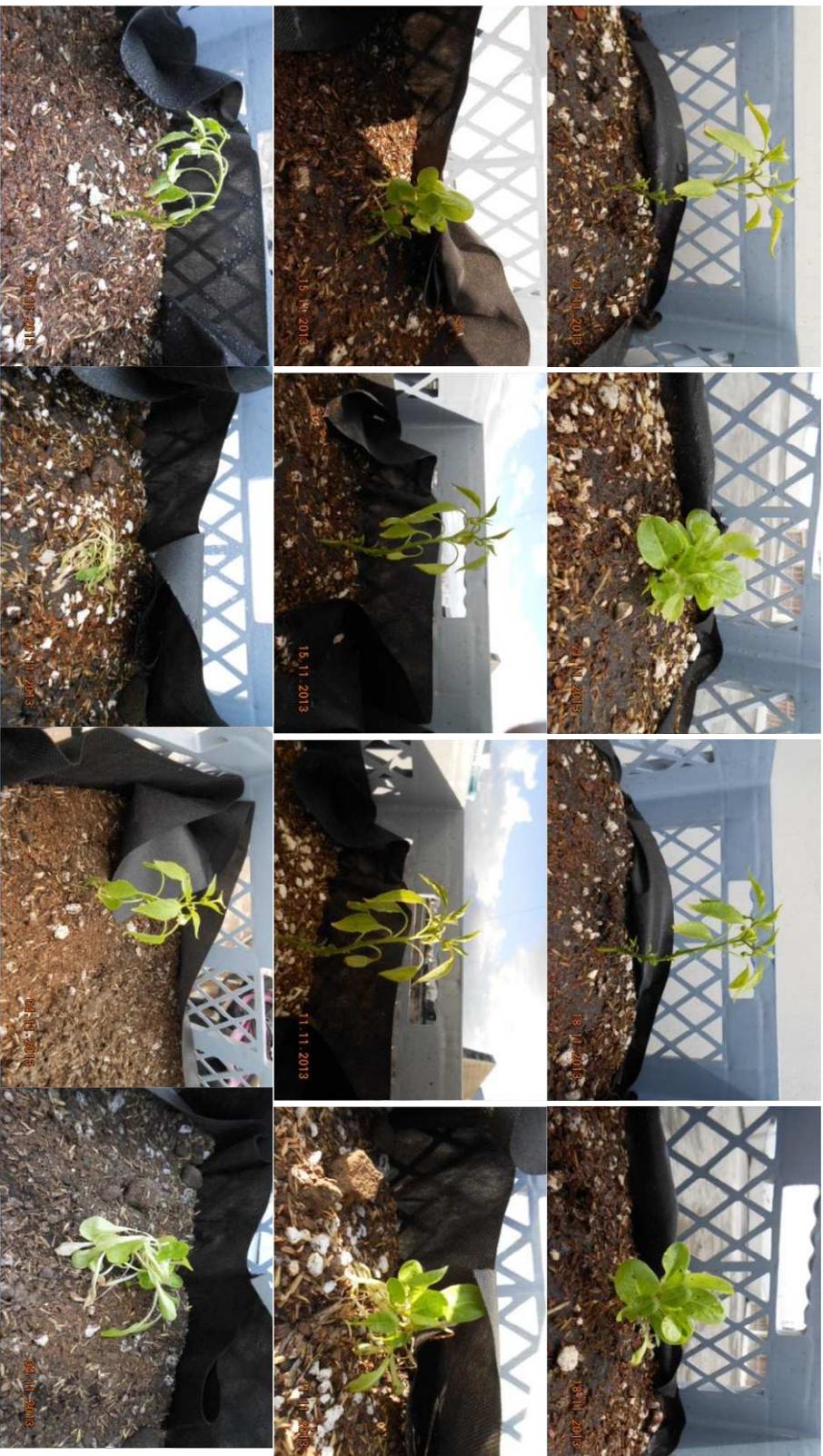
Tratamiento 2



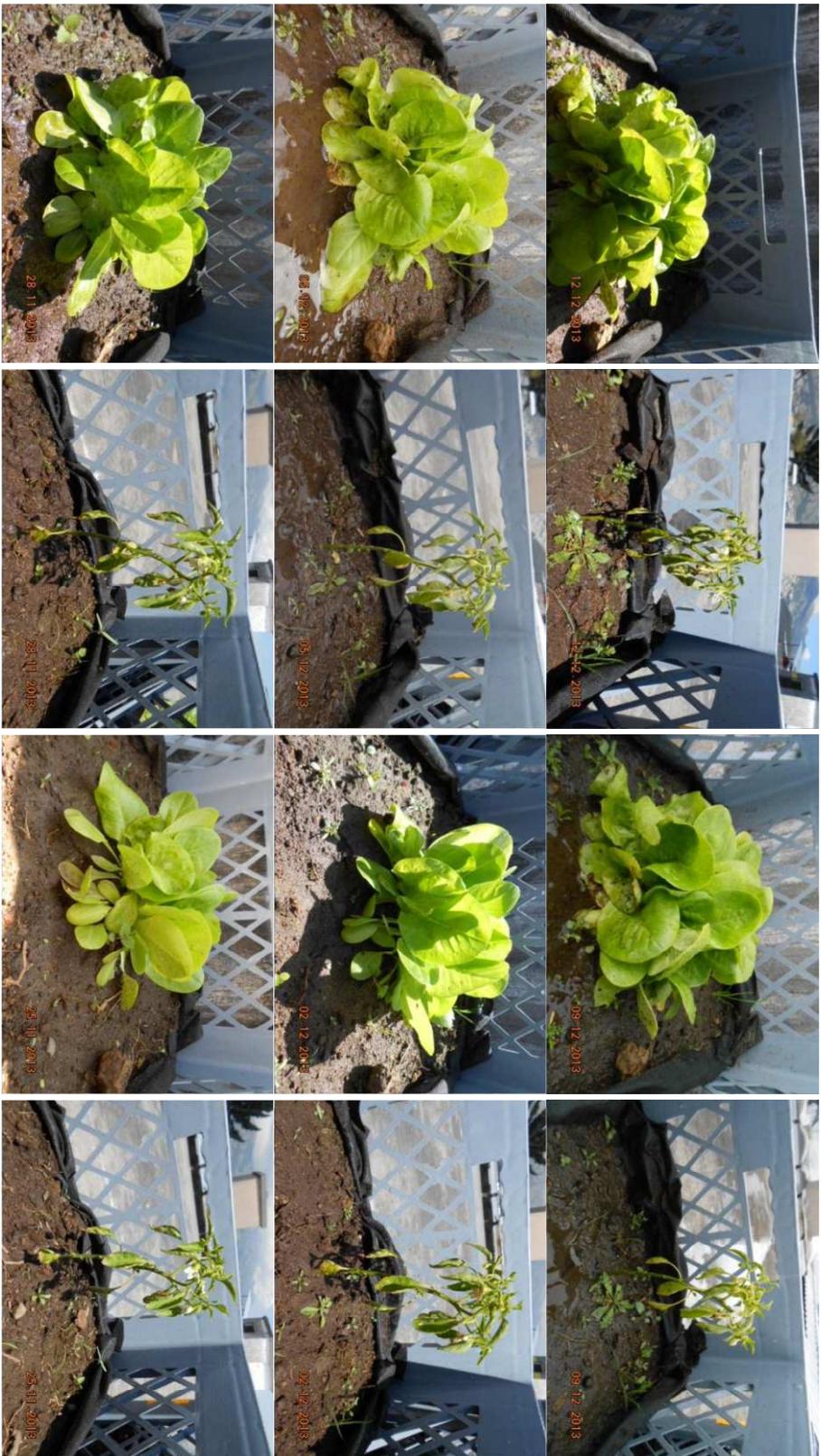


Tratamiento 3



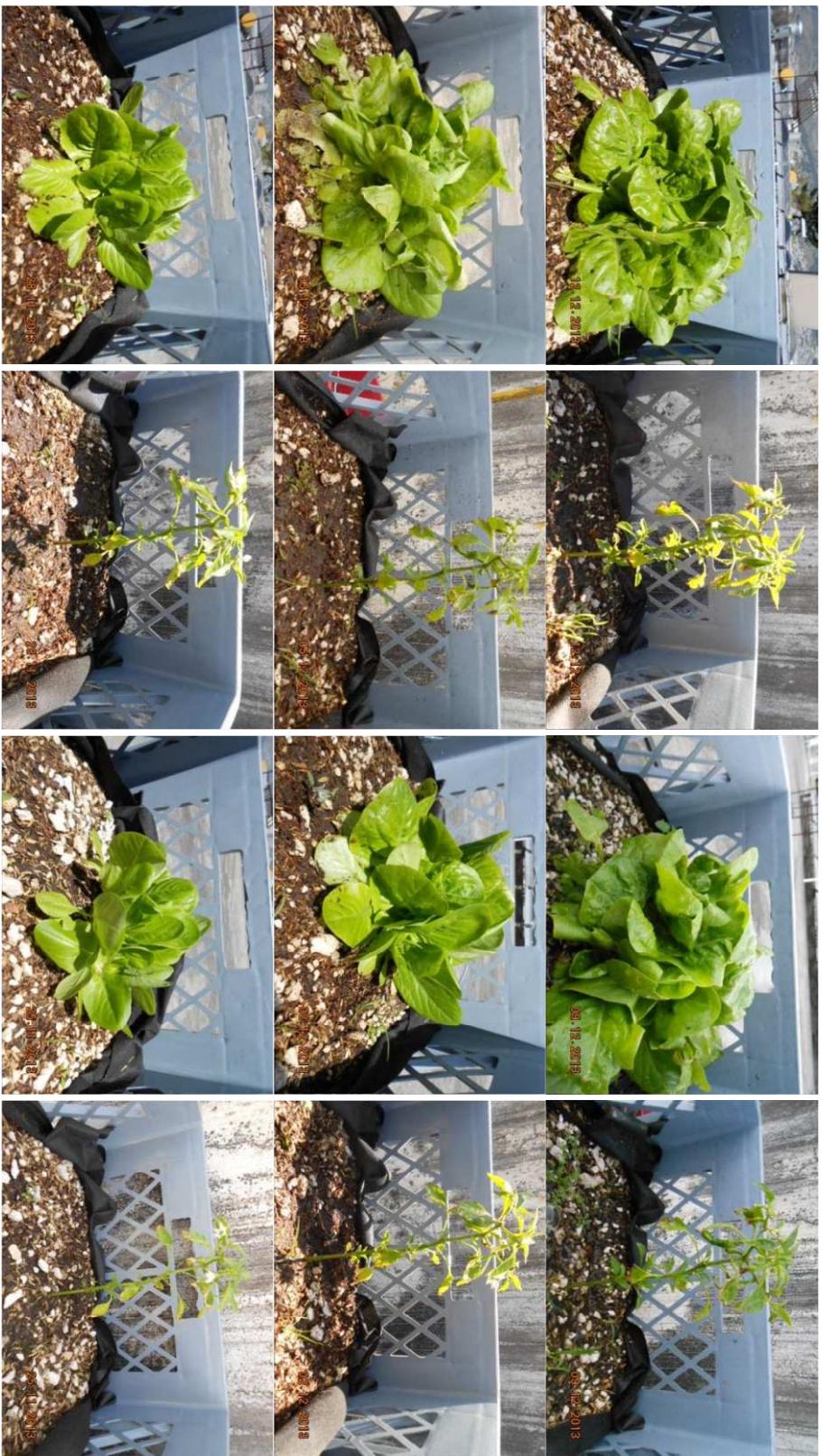


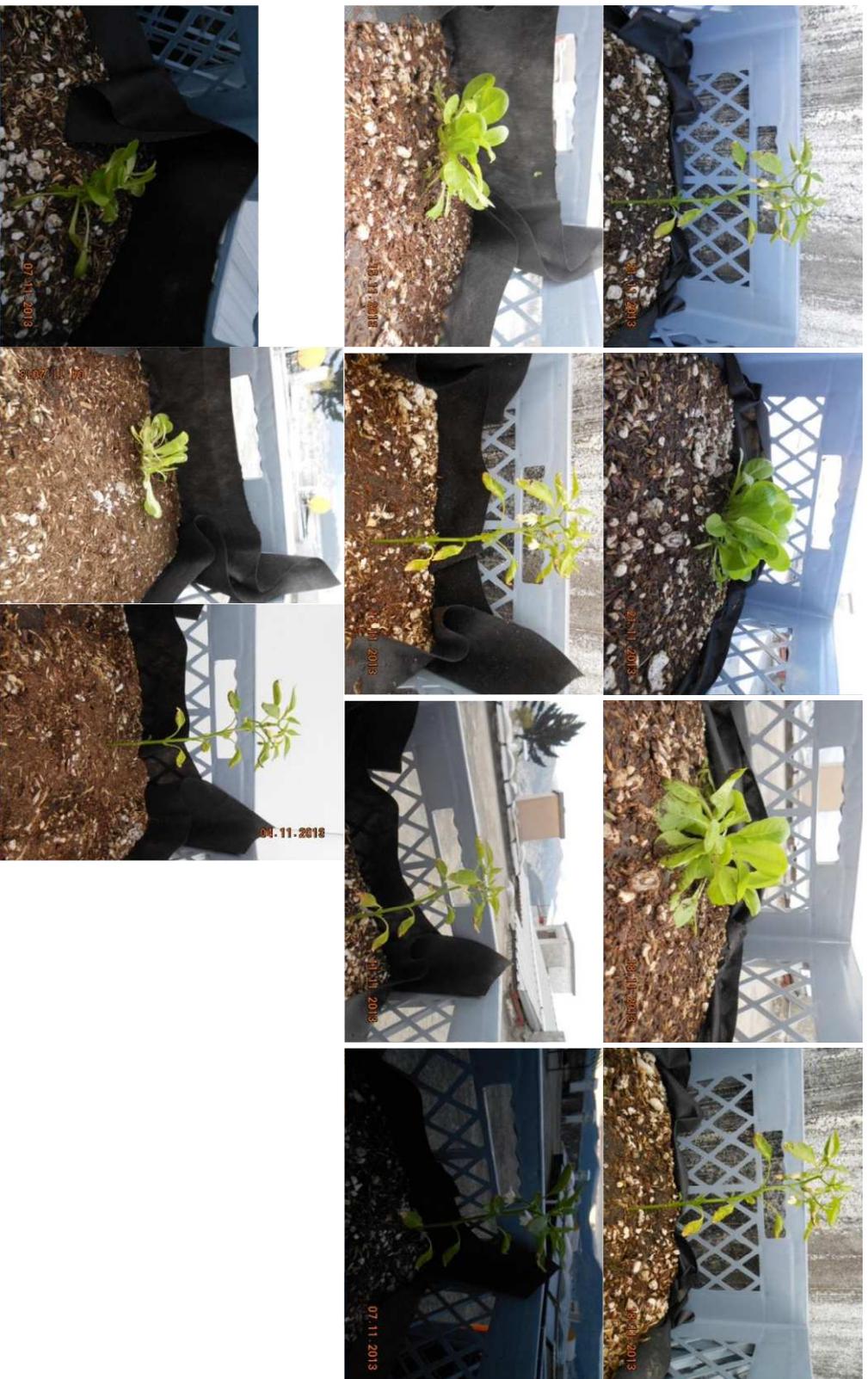
7.4.3. Unidad experimental - El Camal (Patronato)
Tratamiento 1





Tratamiento 2





Tratamiento 3





