

## **1. SECTOR AGRICOLA**

### **1.1 LA UTILIDAD DE LA METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD**

En el Ecuador y en específico el DMQ, la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola se evidencia en diferentes frentes. Por mencionar algunos tenemos los cambios a la duración del ciclo de crecimiento de cultivos, cambios a la incidencia de heladas, alteraciones potenciales al control natural de la presencia de plagas y enfermedades, cambios a la incidencia de temperaturas promedio, temperaturas mínimas y máximas extremas, cambios en el patrón de precipitación y períodos de sequías, etc.

Este estudio se enfoca en el análisis de la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas en la zona del DMQ, ante el efecto del cambio en las temperaturas promedio, su efecto en la duración del ciclo del crecimiento de cultivos, y el efecto del estrés por temperatura en cultivos. Se estudia también la vulnerabilidad de la frontera agrícola por efectos de la variabilidad en temperatura y la exposición de la zona de páramos y bosques a cambios en dicha frontera agrícola.

## **1.2 ETAPA1: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SOCIAL DEL CONOCIMIENTO**

En el Ecuador y en específico el DMQ, la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola se evidencia en diferentes frentes. Entre los principales tenemos: i) los cambios a la duración del ciclo de crecimiento de cultivos, ii) cambios a la incidencia de heladas, iii) alteraciones potenciales al control natural de la presencia de plagas y enfermedades, iv) cambios a la incidencia de temperaturas promedio, v) temperaturas mínimas y máximas extremas, vi) cambios en el patrón de precipitación y períodos de sequías, entre otros. Estos frentes son definidos en los análisis de variabilidad climática del DMQ, pero que requieren ser analizados con un mejor nivel de detalle y especialización. El análisis de vulnerabilidad del sector agrícola contempla el estudio de los cultivos tradicionales que son producidos en las zonas rurales del DMQ, ante el efecto del cambio de las temperaturas promedio, su efecto en la duración del ciclo del crecimiento, y el efecto del estrés ocasionado por temperatura. Por otro lado, es de particular interés establecer la vulnerabilidad de la frontera agrícola en la zona de paramos a cambios en dicha frontera agrícola por efecto de la variabilidad en temperatura.

Los diferentes tipos de cultivos y su relación con la elevación sobre el nivel del mar denotan intrínsecamente una vulnerabilidad del sector agrícola ante la variación climática a lo largo de las diferentes zonas del DMQ. Esta vulnerabilidad está asociada al tipo de cultivo, y su elevación sobre el nivel del mar. Por consiguiente, los cultivos agrícolas son afectados en diferente grado, en función de su elevación sobre el nivel del mar. Se han identificado tres diferentes zonas agrícolas (templada, subtemplada, y subtropical) en el DMQ de acuerdo al calendario de siembra del DMQ<sup>1</sup>(Ver Figura 1).

---

<sup>1</sup> Calendario de Siembra del DMQ. 2013. Fuente: Compañía Consultora Agroprecisión Cia. Ltda.



Figura 1. Calendario de siembra de cultivos en el DMQ

A partir del mapa de cobertura vegetal del DMQ, se logró inferir los diferentes tipos de cultivos predominantes así como sus asociaciones, los cuales se listan a continuación:

- Aguacate-Chirimoya-Frutales
- Caña de Azúcar-Frutales-Maíz
- Frutales - Caña de Azúcar -Palmito
- Frutales-Maíz-Cultivos
- Maíz-Fréjol
- Maíz-Fréjol-Habas-Hortalizas
- Papa-Haba-Maíz-Pastos
- Papa-Maíz-Haba-Pastos
- Papa-Maíz-Pastos

De acuerdo al mapa de clases de clima<sup>2</sup> de la Secretaría de Ambiente, DMQ, se han identificado 11 diferentes tipos de climas en las que se encuentran distribuidas las zonas agrícolas del DMQ y que en forma general se encuentran principalmente en los climas montanos (húmedo, semi-húmedo y seco, semi-seco) y tropicales, La distribución espacial de estos climas en el DMQ se presenta en la Figura 1.

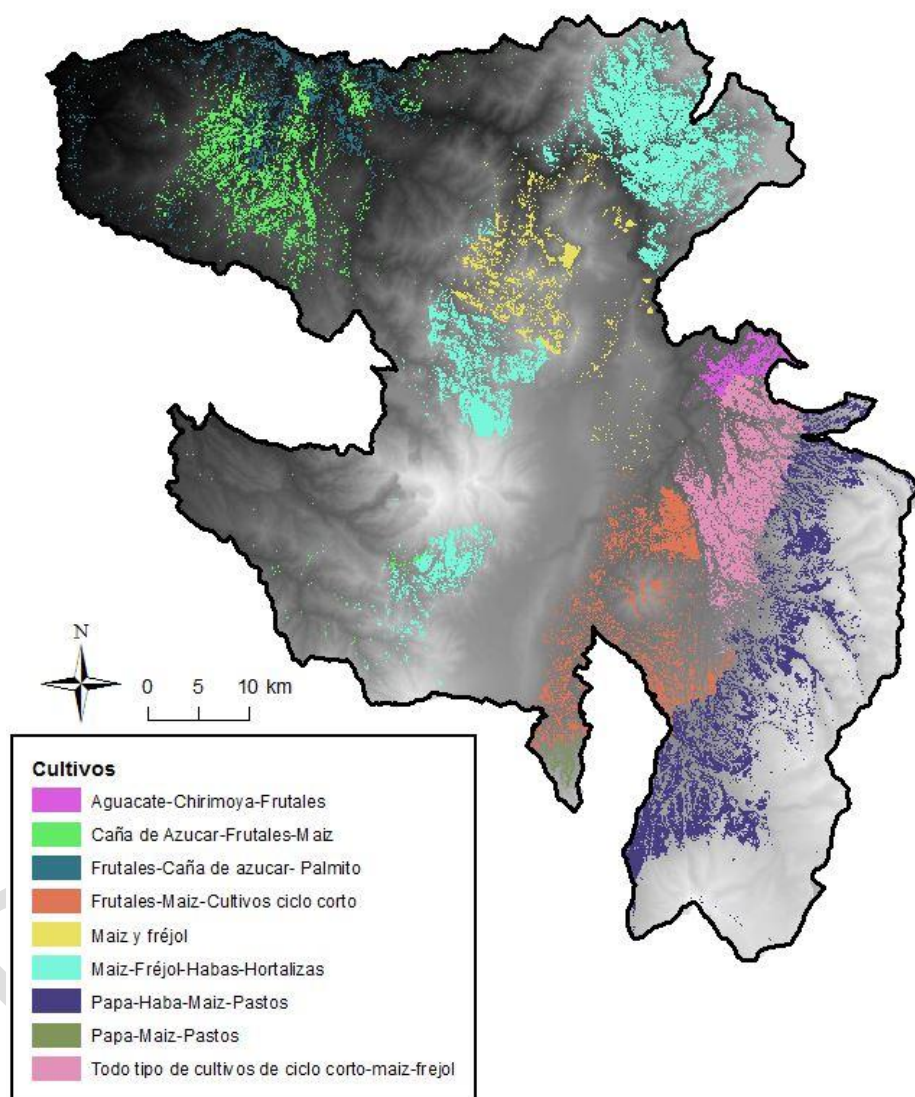


Figura 1. Cultivos agrícolas en el Distrito Metropolitano de Quito

<sup>2</sup> Mapa de Clima conforme al IPCC y modificada por la Unidad de Gestión del Conocimiento de la Secretaría de Ambiente, 2013, N. Narváez.

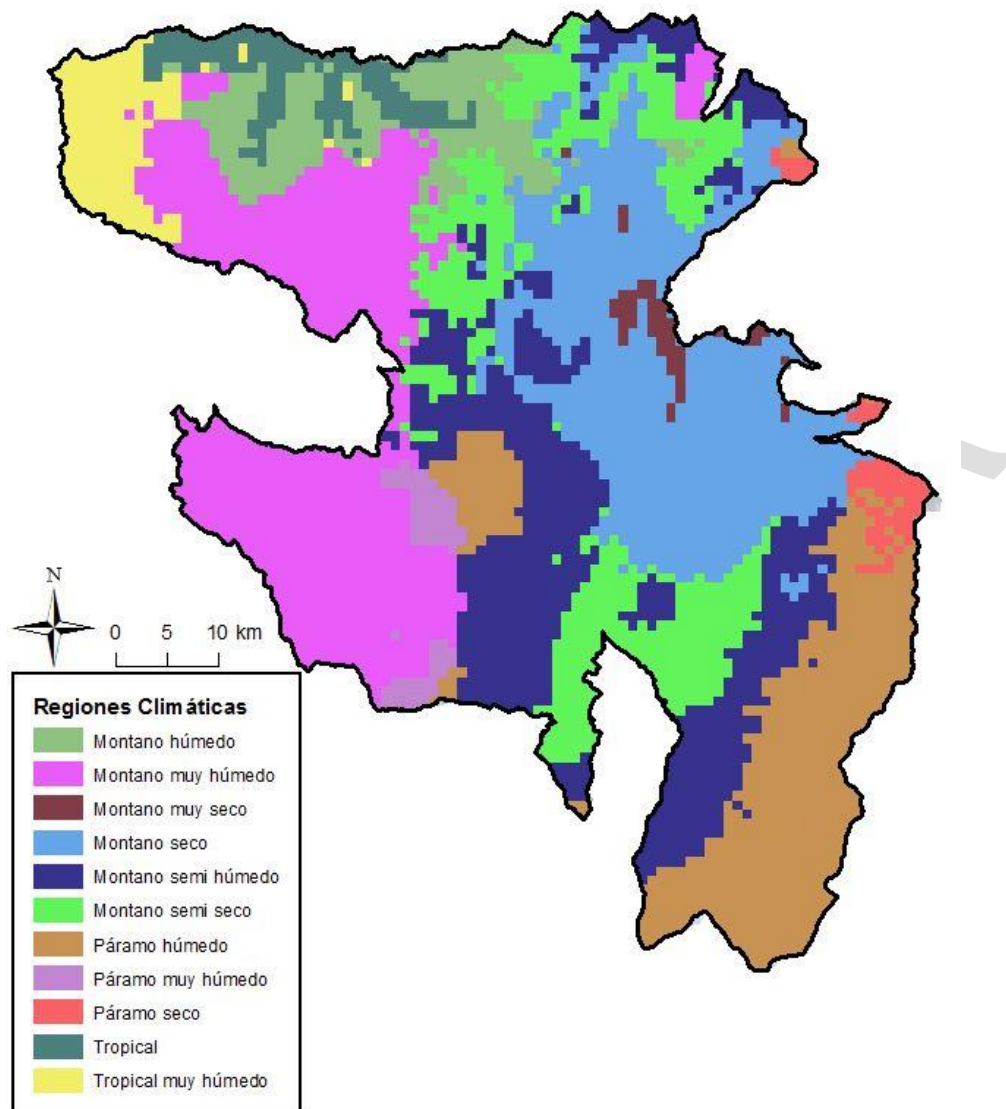


Figura 2 Representación espacial de las diferentes regiones climáticas en el DMQ

### 1.3 ETAPA 2: DEFINICIÓN DE LAS PREGUNTAS CLAVE DE INVESTIGACIÓN

Se pronostica que los cultivos en el DMQ experimenten en cierto grado los efectos del clima futuro, específicamente el incremento en las temperaturas promedio, así como cambios en los patrones de precipitación. Se estima que las alteraciones en las temperaturas, pueden beneficiar o perjudicar a los cultivos dependiendo la temperatura óptima de desarrollo y la temperatura base de crecimiento específica de cada uno de los cultivos. También se puede esperar que ciertos cultivos, como la papa, expandan su frontera agrícola afectando a las zonas de los páramos. Introduciendo con ello que el área de páramos sea expuesta y potencialmente se reduzca; ocasionando una reducción en los caudales que alimentan los ríos, arroyos y quebradas.



Frente a este escenario el sector agrícola se evidencia los siguientes cuestionamientos:

1. ¿Cuál es la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas a la variabilidad climática?
2. ¿Cuál es la sensibilidad de los cultivos y cómo se pueden ver afectados en la duración de los ciclos de crecimiento por cambios en las temperaturas?
3. ¿Cómo la variabilidad climática afectará la exposición de los cultivos a cambios en temperatura y su efecto en el crecimiento; así como los cambios de la frontera agrícola y por consiguiente la exposición de los páramos a cambios en dicha frontera?

#### **1.4 ETAPA3: VARIABLES DE VULNERABILIDAD (AMENAZAS, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD)**

En esta etapa, se describe a continuación los diferentes componentes de estudio en el sector agricultura. Estos componentes se describen considerando las correspondientes variables de estudio e indicadores de sensibilidad y exposición. En el Ecuador la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agricultura se evidencia con mayor énfasis en los cultivos de ciclo corto, en los cuales la variación climática, que puede demorar o incrementar las lluvias causa pérdidas económicas significativas (Edwards 2012). Por ejemplo, la cobertura de riego en cultivos en el país representó 0.4% del total de la superficie cultivada (5.9 millones ha) en el 2009. Esto indica que la totalidad de la superficie cultivada depende de condiciones climáticas para el suministro de las necesidades hídricas.

Se espera que el cambio climático impacte el sector agrícola del Ecuador en diferentes formas, esto dependiendo del tipo de cultivo y del escenario climático en consideración. Es probable que para el año 2030 haya un déficit en producción de arroz de un 3 a 60% si no se implementan medidas de adaptación al cambio climático. Para el cultivo de papa, un escenario predice una reducción de un 34% mientras que un escenario más optimista predice un incremento en la producción. También se pronostica que el cultivo de la soya puede ser impactado negativamente mientras que el maíz de grano puede ser beneficiado (Ministry of the Environment 2000).

En un contexto general, se evidencian impactos directos que inciden en el rendimiento de los cultivos y en los ciclos de crecimiento de los cultivos agrícolas, ocasionados principalmente por el incremento de las temperaturas. Estos cambios afectan directamente la acumulación de Unidades de Calor “UC” necesarias para el crecimiento de los cultivos en el verano (Abril – Agosto); como también las UC para cultivos de invierno (Noviembre Mayo), donde la acumulación rápida de UC por incremento de temperatura sucede aceleradamente.

Por otro lado, la menor acumulación de Horas Frio en invierno “HFI” afectaría rendimientos debido a la insuficiencia de HFI requeridas por ciertos frutales; así como Ondas de Calor durante las Fases Reproductivas “OCFR”. Para el caso específico del Distrito que se encuentra en la zona ecuatorial y que posee rangos altitudinales que van desde los 500 a 4950 msnm,

con temperaturas promedio de entre 2 a 23 °C y precipitaciones entre 355 a 4000 mm de lluvia anual, se descarta el estudio de las HFI considerando además que las temperaturas futuras se incrementarán, para lo cual nos enfocaremos en el estudio de las UC. Por otro lado, se debe considerar que el incremento en temperaturas favorece la presencia de algunas plagas, hongos y enfermedades que perjudican el desarrollo de cultivos. En el caso de la variación en precipitación ésta tiene afectaciones importantes debido a la alteración de los volúmenes de precipitación y las épocas y duración de sequías.

La exposición de los cultivos al incremento de la temperatura, es un tema de suma importancia a desarrollar. Por consiguiente, la estimación de las UC de cultivos se hace fundamental determinar para de esta forma, inferir como los periodos de crecimiento de cultivos pueden ser afectados.

Las unidades de calor "UC" se definen como la diferencia existente entre la temperatura promedio diaria y la temperatura base de crecimiento del cultivo. La temperatura Base de crecimiento de cultivos se define como la temperatura mínima a la cual los cultivos agrícolas pueden iniciar su crecimiento vegetativo y la cual es específica a cada tipo de cultivos<sup>3</sup>.

$$\text{Unidad de Calor} = \left( \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - \text{Temp Base de Cultivo}$$

Las unidades de calor se determinan para la fecha de siembra de los cultivos, así como para la fecha de cosecha. La diferencia entre ambas determina las unidades de calor necesarias para el ciclo de crecimiento en función de la temperatura base de cada cultivo específico.

$$\text{Unidades de Calor de Crecimiento} = UC_{Cosecha} - UC_{Siembra}$$

En la Tabla 1 se presentan las correspondientes unidades de calor promedio históricas requeridas para el crecimiento de los cultivos identificados en las tres grandes zonas climáticas del Ecuador (templada, subtemplada, y tropical) y que para el DMQ corresponden a los climas según el IPCC (Montano húmedo, Montano seco y Tropical muy húmedo).

Estas unidades de calor son calculadas en base a la información de temperatura existente a un nivel diario para la estación climática 003 (Izobamba), con un record histórico diario (aunque no constante) de 1960 a 2011. El valor presente en la última columna de la Tabla 1 corresponde al valor promedio histórico (UC del ciclo de cultivo). De forma similar, se calcularon las UC promedio históricas para tres estaciones climatológicas adicionales: Cotopaxi-Clirsen (120), Papallacta (188) y Tomalon-Tabacundo (126) y las cuales se presentan en la Tabla 2. En la Figura 4 se presenta la ubicación geográfica de estas cuatro estaciones climatológicas respecto al DMQ.

---

<sup>3</sup> Arnold, J. G. et al. 2011. Soil and Water assessment tool input/output file documentation version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report #365. Texas A&M University.

Tabla 1 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ en base a regiones para la estación de Izobamba (003)

| Zona Templada          | Siembra |             | Cosecha |             | Temp Base | Temp Opt | UC Siembra  | UC Cosecha  | UC Ciclo de Cultivo |
|------------------------|---------|-------------|---------|-------------|-----------|----------|-------------|-------------|---------------------|
|                        | Fecha   | Día Juliano | Fecha   | Día Juliano | (°C)      | (°C)     | (Temp Base) | (Temp Base) | (Temp Base)         |
| Papa                   | 1-Feb   | 32          | 15-Jul  | 196         | 7         | 17       | 242         | 1467        | 1226                |
| Haba                   | 16-Aug  | 228         | 30-Nov  | 334         | 10        | 27       | 1021        | 1492        | 471                 |
| Trigo                  | 16-Mar  | 75          | 31-Jul  | 212         | 0         | 18       | 1090        | 3069        | 1979                |
| Cebada                 | 16-Feb  | 47          | 15-Jun  | 166         | 0         | 15       | 683         | 2411        | 1728                |
| Papa                   | 16-Aug  | 228         | 31-Dec  | 365         | 7         | 17       | 1704        | 2726        | 1021                |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 12        | 25       | 3           | 918         | 915                 |
| <b>Zona SubTempada</b> |         |             |         |             |           |          |             |             |                     |
| Maiz                   | 1-Nov   | 305         | 31-Mar  | 90          | 8         | 25       | 1976        | 2949        | 974                 |
| Arveja                 | 1-Nov   | 305         | 31-Mar  | 90          | 1         | 15       | 4111        | 6134        | 2024                |
| Maiz                   | 1-May   | 121         | 30-Sep  | 273         | 8         | 25       | 791         | 1768        | 977                 |
| Frejol                 | 1-May   | 121         | 30-Sep  | 273         | 10        | 27       | 549         | 1222        | 673                 |
| Quinua                 | 1-Jun   | 152         | 31-Dec  | 365         | 0         | 15       | 2210        | 5281        | 3070                |
| Haba                   | 16-Feb  | 47          | 15-Jun  | 166         | 10        | 27       | 213         | 751         | 539                 |
| Papa                   | 16-Aug  | 228         | 31-Dec  | 365         | 7         | 17       | 1704        | 2726        | 1021                |
| Hortalizas (toma)      | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 10        | 22       | 5           | 1631        | 1626                |
| Aguacate               | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 4         | 13       | 11          | 3821        | 3810                |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 12        | 25       | 3           | 918         | 915                 |
| <b>Zona Tropical</b>   |         |             |         |             |           |          |             |             |                     |
| Maiz                   | 16-Feb  | 47          | 30-Jun  | 181         | 8         | 25       | 307         | 1178        | 871                 |
| Frejol                 | 16-Feb  | 47          | 30-Jun  | 181         | 10        | 27       | 213         | 816         | 604                 |
| Maiz                   | 16-Aug  | 228         | 31-Jan  | 31          | 8         | 28       | 1476        | 2563        | 1087                |
| Frejol                 | 16-Aug  | 228         | 31-Jan  | 31          | 10        | 27       | 1021        | 1772        | 751                 |
| Hortalizas (toma)      | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 10        | 22       | 5           | 1631        | 1626                |
| Cana de Azucar         | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 11        | 25       | 4           | 1268        | 1264                |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 12        | 25       | 3           | 918         | 915                 |
| Camote                 | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 14        | 24       | 1           | 391         | 390                 |
| Yuca                   | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 7         | 17       | 8           | 2726        | 2718                |
| Pina (limon)           | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 13        | 30       | 2           | 612         | 610                 |
| Citricos (limon)       | 1-Jan   | 1           | 31-Dec  | 365         | 13        | 30       | 2           | 612         | 610                 |



Tabla 2 Determinación de las Unidades de Calor (UC) promedio históricas del período de crecimiento de cultivos identificados en el DMQ para las estaciones climatológicas de Cotopaxi-Clirsen (120), Papallacta (188) y Tomalon-Tabacundo (126)

| Zona Templada          | Siembra |              | Cosecha |              | Temp Base | Temp Opt | UC Siembra | UC Cosecha | Cotopaxi-Clirsen (120) | Papallacta (126)    | Tomalon-Tabacundo (188) |
|------------------------|---------|--------------|---------|--------------|-----------|----------|------------|------------|------------------------|---------------------|-------------------------|
|                        | Fecha   | Día Jualiano | Fecha   | Día Jualiano | (°C)      | (°C)     |            |            | UC Ciclo de Cultivo    | UC Ciclo de Cultivo | UC Ciclo de Cultivo     |
| Papa                   | 1-Feb   | 32           | 15-Jul  | 196          | 7         | 17       | 165        | 1007       | 360                    | 1561                | 495                     |
| Haba                   | 16-Aug  | 228          | 30-Nov  | 334          | 10        | 27       | 498        | 725        | 38                     | 685                 | 117                     |
| Trigo                  | 16-Mar  | 75           | 31-Jul  | 212          | 0         | 18       | 913        | 2569       | 1240                   | 2221                | 1346                    |
| Cebada                 | 16-Feb  | 47           | 15-Jun  | 166          | 0         | 15       | 571        | 2024       | 1096                   | 1990                | 1206                    |
| Papa                   | 16-Aug  | 228          | 31-Dec  | 365          | 7         | 17       | 1164       | 1859       | 290                    | 1316                | 445                     |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 12        | 25       | 1          | 328        | 29                     | 1637                | 170                     |
| <b>Zona SubTempada</b> |         |              |         |              |           |          |            |            |                        |                     |                         |
| Maiz                   | 1-Nov   | 305          | 31-Mar  | 90           | 8         | 25       | 1248       | 1872       | 214                    | 1356                | 367                     |
| Arveja                 | 1-Nov   | 305          | 31-Mar  | 90           | 1         | 15       | 3383       | 5056       | 1231                   | 2406                | 1401                    |
| Maiz                   | 1-May   | 121          | 30-Sep  | 273          | 8         | 25       | 510        | 1117       | 186                    | 1178                | 272                     |
| Frejol                 | 1-May   | 121          | 30-Sep  | 273          | 10        | 27       | 276        | 593        | 54                     | 875                 | 124                     |
| Quinoa                 | 1-Jun   | 152          | 31-Dec  | 365          | 0         | 15       | 1857       | 4414       | 1910                   | 3449                | 2102                    |
| Haba                   | 16-Feb  | 47           | 15-Jun  | 166          | 10        | 27       | 104        | 376        | 53                     | 800                 | 125                     |
| Papa                   | 16-Aug  | 228          | 31-Dec  | 365          | 7         | 17       | 1164       | 1859       | 290                    | 1316                | 445                     |
| Hortalizas (tomate)    | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 10        | 22       | 2          | 795        | 150                    | 2359                | 375                     |
| Aguacate               | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 4         | 13       | 8          | 2954       | 1848                   | 4542                | 2189                    |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 12        | 25       | 1          | 328        | 29                     | 1637                | 170                     |
| <b>Zona Tropical</b>   |         |              |         |              |           |          |            |            |                        |                     |                         |
| Maiz                   | 16-Feb  | 47           | 30-Jun  | 181          | 8         | 25       | 195        | 756        | 186                    | 1154                | 291                     |
| Frejol                 | 16-Feb  | 47           | 30-Jun  | 181          | 10        | 27       | 104        | 406        | 60                     | 886                 | 136                     |
| Maiz                   | 16-Aug  | 228          | 31-Jan  | 31           | 8         | 28       | 936        | 1624       | 223                    | 1458                | 396                     |
| Frejol                 | 16-Aug  | 228          | 31-Jan  | 31           | 10        | 27       | 498        | 863        | 65                     | 1122                | 192                     |
| Hortalizas (tomate)    | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 10        | 22       | 2          | 795        | 150                    | 2359                | 375                     |
| Cana de Azucar         | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 11        | 25       | 2          | 516        | 41                     | 1996                | 274                     |
| Pastos                 | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 12        | 25       | 1          | 328        | 29                     | 1637                | 170                     |
| Camote                 | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 14        | 24       | 1          | 127        | 22                     | 1021                | 19                      |
| Yuca                   | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 7         | 17       | 5          | 1859       | 777                    | 3450                | 1111                    |
| Pina (limon)           | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 13        | 30       | 1          | 215        | 25                     | 1322                | 86                      |
| Citricos (limon)       | 1-Jan   | 1            | 31-Dec  | 365          | 13        | 30       | 1          | 215        | 25                     | 1322                | 86                      |

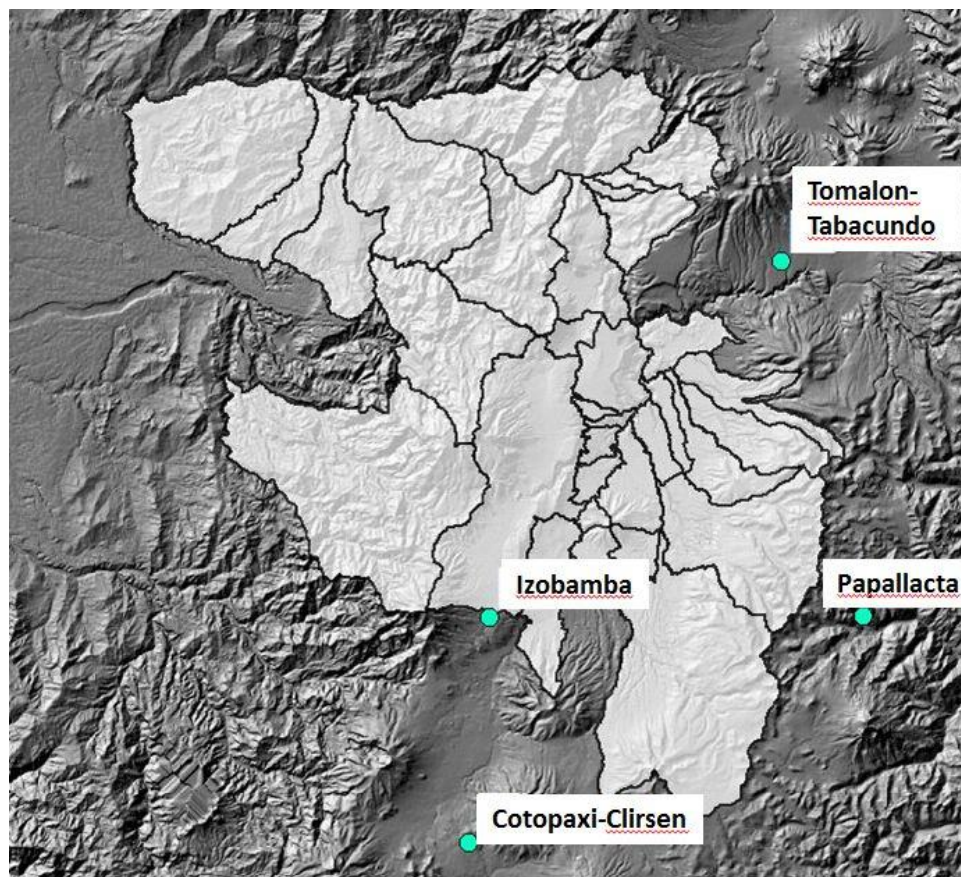


Figura 3 Ubicación geográfica de las estaciones climatológicas respecto al DMQ.

Un siguiente paso es la determinación de las mismas UC con el uso de las temperaturas mínimas y máximas proyectadas al año 2050. Para de esta forma, determinar el nivel de sensibilidad al cual los cultivos estarán expuestos al incremento de las temperaturas. Con esto, se puede inferir la sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos agrícolas a cambios en las temperaturas. Para este ejercicio se aplicó a las cuatro estaciones climatológicas como se presenta más adelante. En este contexto, para entender el procedimiento de generación de información climática proyectada al año 2050 en términos de precipitación y temperatura mínima y máxima, se sugiere consultar el documento titulado “Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos”<sup>4</sup>. En este documento se describe la generación de información meteorológica de precipitación y temperatura para las emisiones futuras o Rutas de Concentración Representativas (RCPs). Este análisis dio lugar a un conjunto de escenarios potenciales más adversos a enfrentar en un futuro para estudiar la vulnerabilidad y el análisis de la adaptación. Los análisis desarrollados en este proceso, se basan en la ruta mayor de emisión, la cual es la RCP8.5. Se seleccionó esta ruta de emisión a sugerencia explícita del personal de la Secretaria de Ambiente del DMQ, con el objetivo de determinar la vulnerabilidad de cultivos agrícolas ante el escenario potencial más adverso a enfrentar en un

<sup>4</sup> Yates et al. 2014. WP1 Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos. Stockholm Enviroment Institute.

futuro. Esta ruta prevé a finales del siglo XXI que las temperaturas aumenten de 4 a 5°C, mientras que el cambio en las precipitaciones es más incierto, ya que la colección de modelos climáticos muestra aumentos y disminuciones. Los cambios en temperatura mínima y máxima para el año 2050 a nivel mensual se presentan en la Figura 5 para la estación 003 Izobamba y en la Figura 6 se presentan tres estaciones restantes. Se presenta la estación 003 Izobamba independientemente, debido a que es la estación más cercana al DMQ y con condiciones orográficas más similares al DMQ (ver Figura 4).

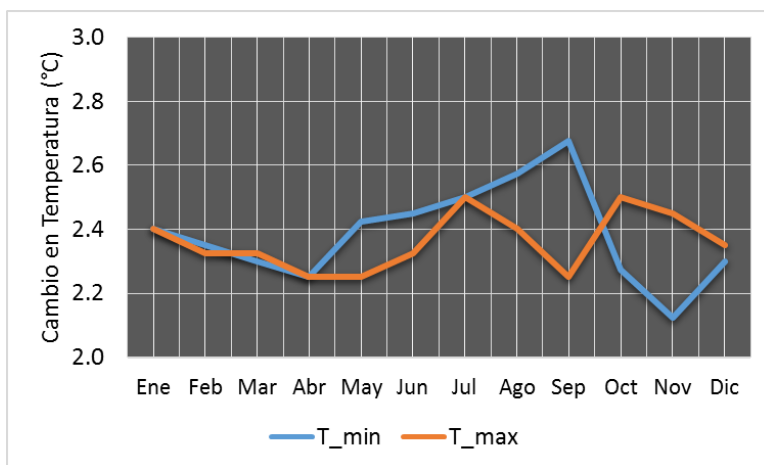


Figura 4. Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperatura mínima y máxima para la estación 003 Izobamba de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5

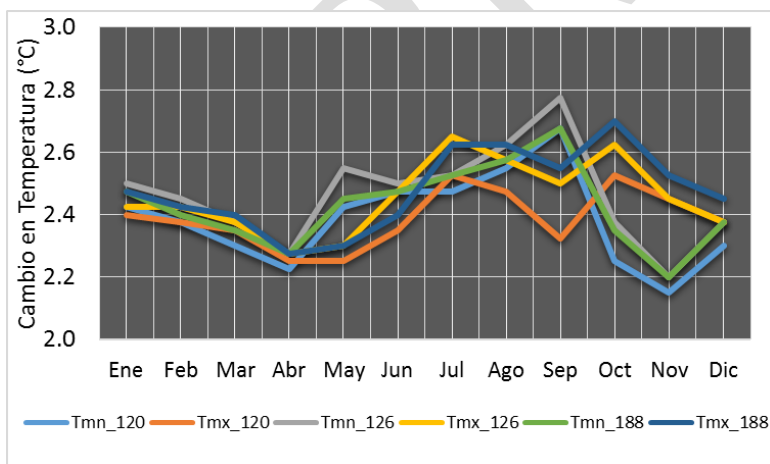


Figura 5. Proyección del cambio mensual al año 2050 en temperaturas mínimas y máximas para las estaciones 120 Cotopaxi-Clirsén, 188 Papallacta y 126 Tomalón-Tabacundo de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5

En la Figura 7 se presenta la distribución espacial de los cambios en temperatura media observada para el periodo histórico de 1960 al 2006 para todo el DMQ<sup>5</sup>. Estos cambios están

<sup>5</sup> Segunda Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático. Enero 2011. Recopilado por CIFEN.

basados en la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático; en la cual se presenta que la zona de Mashpi y Oso Andino muestra un incremento de aproximadamente 0.4 °C mientras que en la zona de Cerro Puntas se observa un incremento de 0.8°C (similar al promedio de incremento a nivel nacional. De igual forma en la Figura 8 se presentan los cambios pronosticados espacialmente al año 2050 los cuales van desde 2.3 a 2.5 °C. Dichos valores son los cambios en temperatura con respecto al año 2012 (consultar: Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos<sup>6</sup>).

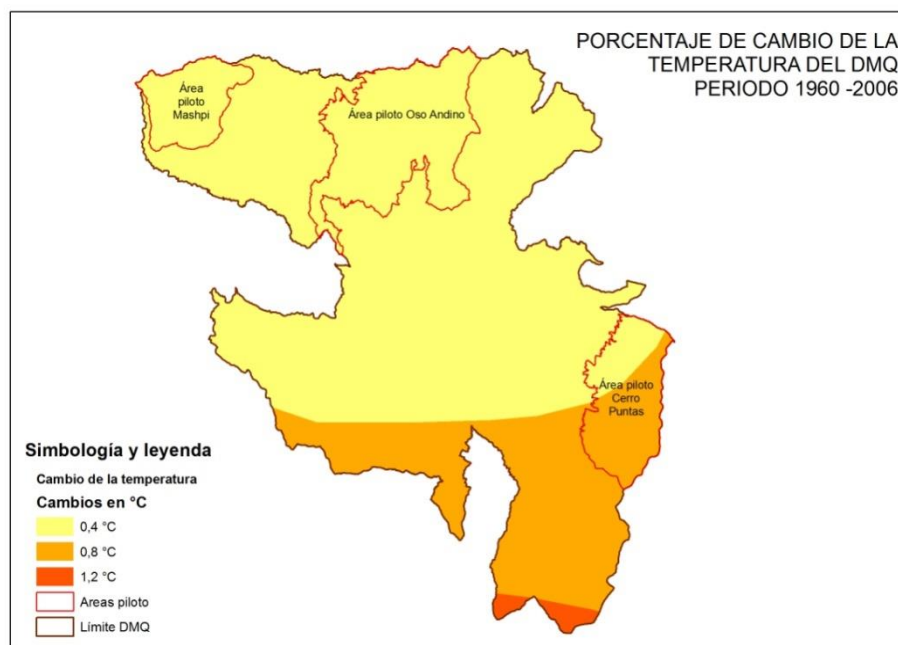


Figura 6. Cambios en temperatura media observada del DMQ en base a la estación de Izobamba para el periodo histórico de 1960 al 2006.

<sup>6</sup> Yates et al. 2014. WP1 Distrito Metropolitano de Quito: Análisis integrado de amenazas relacionadas con el cambio climático, aspectos naturales y socioeconómicos. Stockholm Enviroment Institute.

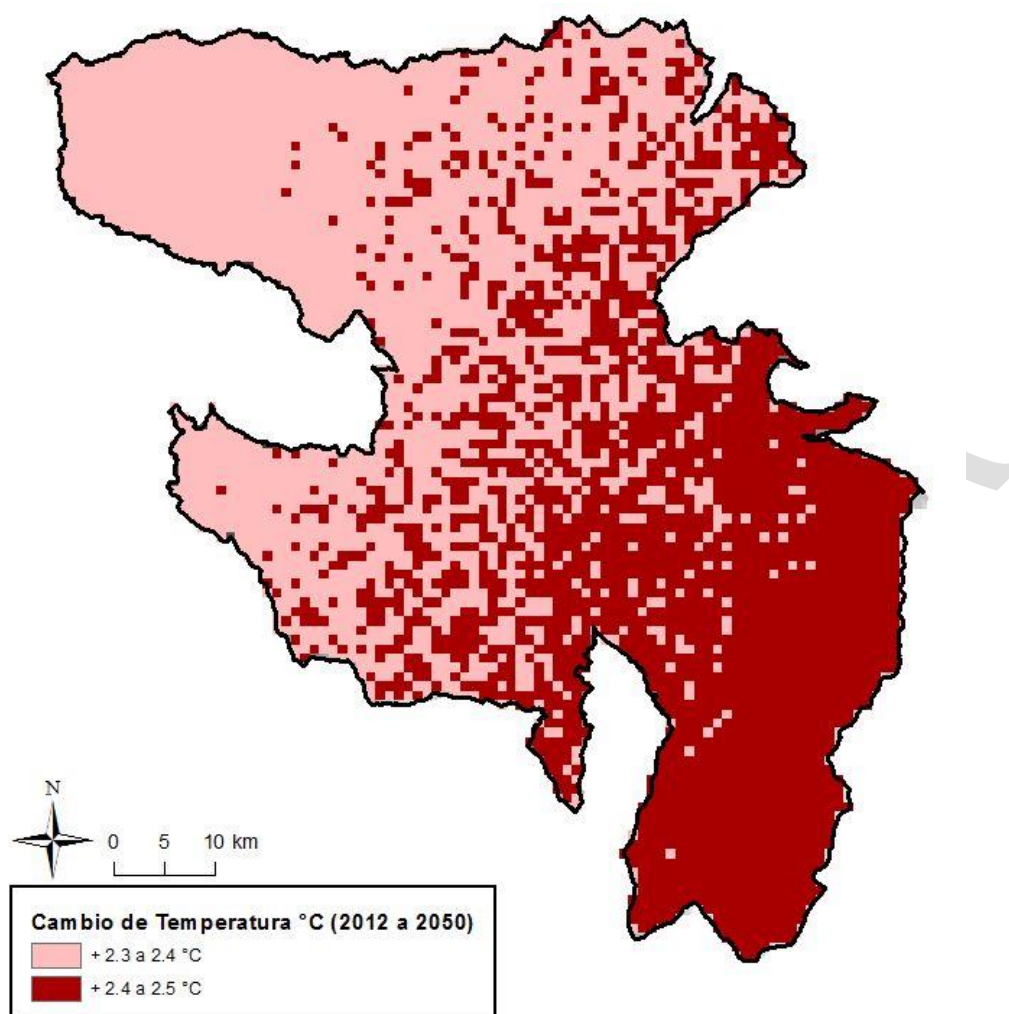


Figura 7. Proyección espacial del cambio en temperaturas promedio al año 2050 para para el DMQ de acuerdo a la ruta de concentración RCP8.5

### SENSIBILIDAD DEL SECTOR AGRICULTURA

La sensibilidad del sector agricultura se determinó tomando en cuenta el nivel en que el sector agricultura está siendo afectado positivamente o negativamente, por alteraciones relacionadas con el clima, específicamente temperatura. Esto dio como resultados el estudio de dos componentes de sensibilidad (I) Sensibilidad de los cultivos agrícolas a cambios en temperatura y su efecto en crecimiento y producción, y (II) Sensibilidad del ciclo de crecimiento de cultivos agrícolas a cambios en temperatura. En este contexto, se determinaron los dos niveles de sensibilidad antes mencionados en cultivos individuales y su asociación de acuerdo al mapa de cobertura vegetal<sup>7</sup> de la Secretaria del Ambiente para el DMQ.

<sup>7</sup> Mapa de cobertura vegetal del DMQ, 2010 - Secretaria del Ambiente de Quito, modificado por personal de la Secretaría del Ambiente - N. Narváez.

I. Sensibilidad de los cultivos agrícolas a cambios en temperatura y su efecto en crecimiento y producción

La sensibilidad cultivos a la exposición de cambios en temperatura se realizó a través de la determinación del estrés de temperatura o factor de reducción de crecimiento por temperatura (Neitsch et al. 2011):

$$RCT = Exp \left( -0.1054 * \frac{TOPC - TX}{2 * (TX - TBSC)} \right)$$

Donde

RTC: factor de reducción de crecimiento por temperatura (adimensional)

TOPC: Temperatura optima de desarrollo para el cultivo (°C)

TBSC: Temperatura base de desarrollo del cultivo (°C)

TX: Temperatura diaria promedio (°C)

Con la implementación del factor de reducción de crecimiento por temperatura de cultivos agrícolas a un paso de tiempo diario durante el ciclo de crecimiento de cultivos, podemos inferir el nivel de sensibilidad de los cultivos. La implementación de dicho factor se realizó con información promedio histórica (1960 – 2011) de temperatura de la Estación 003 Izobamba. Posterior a ello, se hizo el mismo ejercicio con proyecciones de temperatura al año 2050 usando ruta de concentración RCP8.5 que determina un cambio en las temperaturas (Ver Figura 3). Los cultivos analizados con su respectivo periodo de crecimiento se realizaron para la zona montana subtemplada (Figura 9).



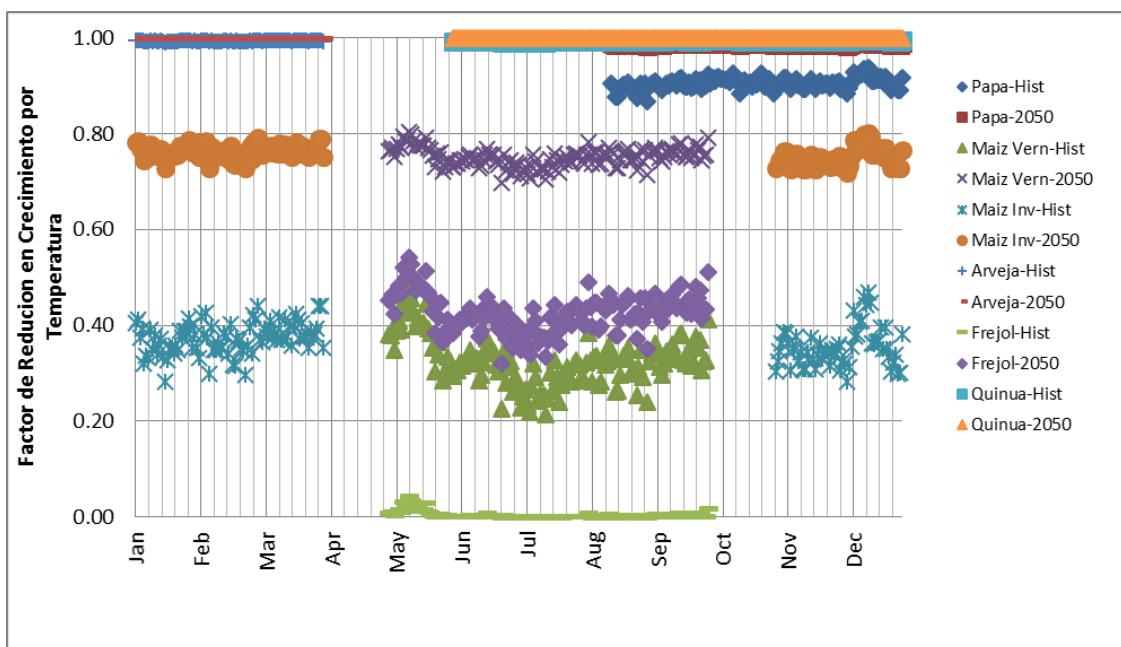


Figura 8. Determinación del factor de reducción en crecimiento de cultivos anuales por efecto de la temperatura para la Zona Sub-templada.

Un valor del factor de reducción de crecimiento por temperatura de 1 indica no reducción mientras que un factor de reducción de crecimiento por temperatura de 0 indica reducción completa.

Como se puede observar en la Figura 8, el nivel de sensibilidad de los cultivos a la exposición de temperatura es positivo. Tomando como ejemplo el cultivo de Maíz de Verano, este presenta un factor de reducción menor durante el periodo histórico, comparado con al año 2050. Esto indica una condición más óptima en el desarrollo de los cultivos, conforme las temperaturas promedio se incrementan. Esta afirmación solamente aplica para el periodo al año 2050, posterior a ello, no sabemos cómo la sensibilidad de los cultivos se verá alterada. La explicación en base las temperaturas del DMQ, es que las temperaturas están por debajo de las temperaturas óptimas de desarrollo. En otras palabras, las temperaturas se ubican en el rango izquierdo de la curva en la Figura 9 de un cultivo hipotético. Con el incremento en las temperaturas, estas temperaturas se acercan a la temperatura óptima de desarrollo o la superan un poco, pero no lo suficiente para producir en efecto negativo (lado derecho de la curva en Figura 10).

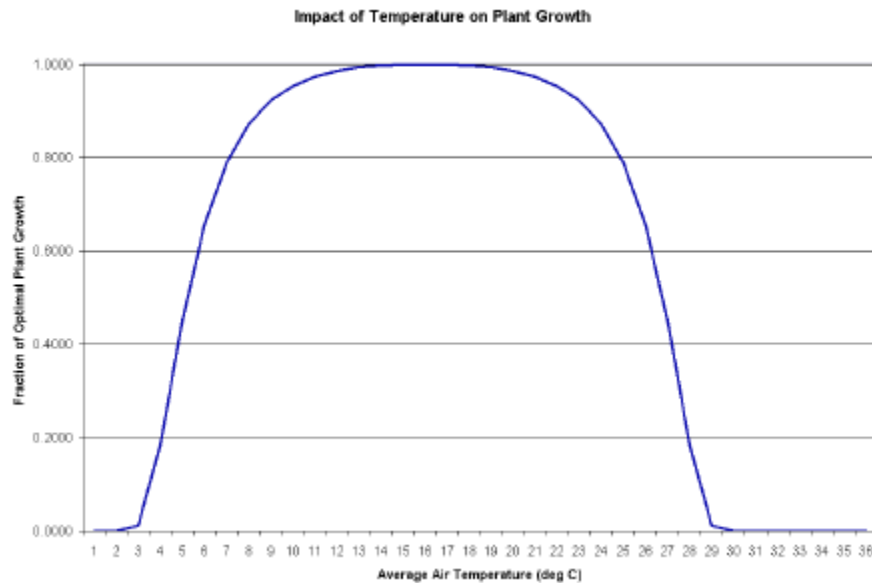


Figura 9. Impacto de la temperatura media del aire en el crecimiento de un cultivo agrícola hipotético con una Temperatura Base = 0 °C y una Temperatura Optima = 15 °C. Fuente: Neitsch, Arnold, Kiniry and Williams, 2011.

Una práctica agrícola común en el DMQ es la asociación de cultivos. Por lo cual, un análisis un poco más específico es necesario realizar para presentar los niveles de sensibilidad de cultivos en condiciones más reales. Para esto se tienen identificados los diferentes tipos de asociación de cultivos, los cuales se presentan en la Tabla 3 con sus respectivos factores de reducción de crecimiento por temperatura promediados. El nivel de exposición se define en base a la siguiente clasificación propuesta por personal técnico de SEI.

| Factor de reducción de crecimiento por Temperatura | Nivel de Sensibilidad |
|--|-----------------------|
| 1 - 0.75   | Bajo                  |
| 0.75 - 0.5   | Medio                 |
| < 0.5  | Alto                  |

En la Tabla 3, el área de cultivos, elevación promedio, y temperatura promedio en banda de elevación son datos que fueron extraídos mediante procesos de análisis SIG del mapa de cobertura vegetal<sup>8</sup> proporcionado por la Secretaria del Ambiente de Quito, el modelo de

<sup>8</sup> Mapa de cobertura vegetal del DMQ, 2010 - Secretaria del Ambiente de Quito, modificado por la Unidad de Gestión del Conocimiento de la Secretaría de Ambiente - N. Narváez.

elevación digital del DMQ y el mapa de clima<sup>9</sup>. La representación espacial del nivel de sensibilidad de cultivos agrícolas asociados se presenta en la Figura 11.

BORRADOR

---

<sup>9</sup> Mapa de Clima conforme al IPCC y modificada por la Unidad de Gestión del Conocimiento de la Secretaría de Ambiente, 2013, N. Narváez.

| Abreviacion | Cultivos                | Temp Base (°C) | Temp Optima (°C) | Area (km2) | Elev Promedio (m) | Temp Promedio en Banda de Elevacion (°C) | Factor de reducci3n de crecimiento por Temperatura<br>1 = No Reduccion, 0 = Reduccion Completa | Nivel de Sensibilidad |
|-------------|-------------------------|----------------|------------------|------------|-------------------|--|--|-----------------------|
| Ag_Ch_Fr    | Aguacate                | 4              | 13               | 18.99      | 2236              | 16.2                                     | 0.95   | Bajo                  |
|             | Chirimoya               |                |                  |            |                   |  |  |                       |
|             | Frutales (Citricos)     | 13             | 30               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 8.5            | 21.5             |            |                   |  |  |                       |
| Ca_Fr_Ma    | Cana de Azucar          | 11             | 25               | 79.42      | 1496              | 18.4                                     | 0.89   | Bajo                  |
|             | Frutales (Citricos)     | 13             | 30               |            |                   |  |  |                       |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 10.7           | 26.7             |            |                   |  |  |                       |
| Fr_Ca_Pa    | Frutales (Citricos)     | 13             | 30               | 43.6       | 1027              | 20.4                                     | 0.93   | Bajo                  |
|             | Cana de Azucar          | 11             | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Palmito                 |                |                  |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 12.0           | 27.5             |            |                   |  |  |                       |
| Fr_Ma_CC    | Frutales (Citricos)     | 13             | 30               | 32         | 2413              | 15.8                                     | 0.63   | Medio                 |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Cult Ciclo Corto (Haba) | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 10.3           | 27.3             |            |                   |  |  |                       |
| Ma_Fj       | Maiz                    | 8              | 25               | 38.43      | 2545              | 14.5                                     | 0.63   | Medio                 |
|             | Frejol                  | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9              | 26               |            |                   |  |  |                       |
| Ma_Fj       | Maiz                    | 8              | 25               | 1.66       | 2601              | 15.3                                     | 0.74   | Medio                 |
|             | Frejol                  | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9              | 26               |            |                   |  |  |                       |
| Ma_Fj_Ha_Hc | Maiz                    | 8              | 25               | 174.36     | 2493              | 14                                       | 0.52   | Medio                 |
|             | Frejol                  | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Haba                    | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Hortalizas (Tomate)     | 10             | 22               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9.5            | 25.3             |            |                   |  |  |                       |
| Pa_Ha_Ma_Pe | Papa                    | 7              | 17               | 30.32      | 3228              | 10                                       | 0.00   | Alto                  |
|             | Haba                    | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Pasto                   | 12             | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9.3            | 23.5             |            |                   |  |  |                       |
| Pa_Ma_Ha_Pe | Papa                    | 7              | 17               | 100.08     | 3323              | 8.9                                      | 0.00   | Alto                  |
|             | Maiz                    | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Haba                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Pasto                   | 12             | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9.3            | 23.5             |            |                   |  |  |                       |
| Pa_Ma_Pa    | Papa                    | 7              | 17               | 5.88       | 2978              | 12.1                                     | 0.32   | Alto                  |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Pasto                   | 12             | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9.0            | 22.3             |            |                   |  |  |                       |
| CC_Ma_Fr    | Cult Ciclo Corto (Haba) | 10             | 27               | 45.11      | 2624              | 14.6                                     | 0.39   | Alto                  |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Frutales (Citricos)     | 13             | 30               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 10.3           | 27.3             |            |                   |  |  |                       |
| CC_Ma_Fj    | Cult Ciclo Corto (Haba) | 10             | 27               | 96.44      | 2534              | 15.2                                     | 0.68   | Medio                 |
|             | Maiz                    | 8              | 25               |            |                   |  |  |                       |
|             | Frejol                  | 10             | 27               |            |                   |  |  |                       |
|             | Promedio                | 9.3            | 26.3             |            |                   |  |  |                       |

Tabla 3. Determinaci3n del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociaci3n de cultivos agr3colas para el DMQ. Los valores num3ricos resaltados en color negro, son los valores utilizados en el an3lisis.

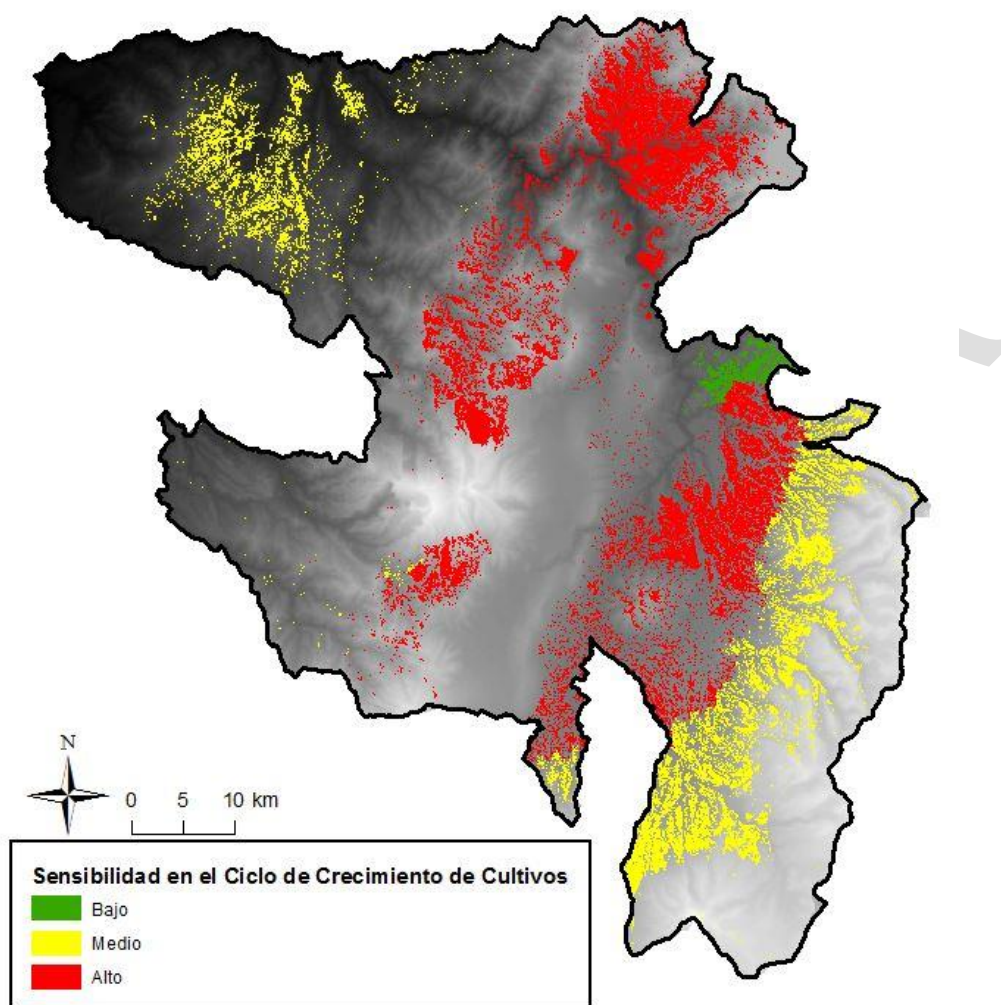


Figura 10 Representación espacial del nivel de sensibilidad por efecto de temperatura en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ

#### SENSIBILIDAD DEL CICLO DE CRECIMIENTO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS A CAMBIOS EN TEMPERATURA

Una segunda sensibilidad de los cultivos agrícolas identificada para el DMQ es el efecto del cambio en las temperaturas sobre el periodo de crecimiento de cultivos. Este análisis se fundamenta en el cálculo de las unidades de calor y su acumulación como fue descrito anteriormente. Para este análisis, se tienen identificados los diferentes tipos de asociación de cultivos con su promedio histórico (1960-2011) de días de crecimiento calculados en base al calendario agrícola del DMQ. En base a la acumulación histórica del número de unidades de calor del calendario agrícola, se definió la misma fecha de siembra para el periodo futuro (2050). La fecha de cosecha se determinó en base a la acumulación de las unidades de calor históricas usando la información de temperatura al 2050. La definición de la fecha de cosecha,

se determina cuando la acumulación de las unidades de calor históricas se alcanza con las temperaturas a futuro. Posterior a ello, se cuantificaron el número de días efectivos del periodo de crecimiento para el periodo histórico y futuro. Se compararon y se determinó el cambio en porcentaje del periodo de crecimiento de cultivos, los cuales se presentan en la Tabla 3. La sensibilidad en este caso, es negativa, ya que existe un decremento en la duración del periodo de crecimiento. Esto debido a la acumulación rápida de las unidades de calor por el incremento en temperaturas. El nivel de exposición se define en base a la siguiente clasificación propuesta por personal técnico de SEI.

| <b>Tipo de Cambio</b> | <b>Nivel de Sensibilidad</b> |
|-----------------------|------------------------------|
| 20 - 30               | Bajo                         |
| 30 - 40               | Medio                        |
| 40 - 50               | Alto                         |



| Zona SubTemplada, Estacion 003<br>Izobamba              | # Dias de Ciclo de Cultivo Historico (1960-2011) |        |        |                                |        |      | Promedio<br># Dias<br>Cultivo | Cambio en<br>Porcentaje de #<br>Dias de Cultivo | Nivel de<br>Sensibilidad |
|---|--|--------|--------|--------------------------------|--------|------|-------------------------------|---|--------------------------|
|   | Aguacate   | Maiz 1 | Maiz 2 | Cultivos ciclo<br>corto (haba) | Frejol | Papa |                               |   |                          |
| <b>Aguacate-Chirimoya-Frutales</b>                      | 365  |        |        |                                |        |      | 365                           | -23   | <b>Bajo</b>              |
| Caña de Azucar-Frutales- <b>Maiz</b>                    |  | 150    | 152    |                                |        |      | 151                           | -36   | <b>Medio</b>             |
| Frutales-Caña de azucar- Palmito                        |  |        |        |                                |        |      |                               |   |                          |
| Frutales- <b>Maiz-Cultivos ciclo corto(haba)</b>        |  | 150    | 152    | 119                            |        |      | 140                           | -40   | <b>Alto</b>              |
| <b>Maiz y fréjol</b>                                    |  | 150    | 152    |                                | 152    |      | 151                           | -42   | <b>Alto</b>              |
| <b>Maiz-Frejol</b>                                      |  | 150    | 152    |                                | 152    |      | 151                           | -42   | <b>Alto</b>              |
| <b>Maiz-Fréjol-Habas-Hortalizas</b>                     |  | 150    | 152    | 119                            | 152    |      | 143                           | -43   | <b>Alto</b>              |
| <b>Papa-Haba-Maiz-Pastos</b>                            |  | 150    | 152    | 119                            |        | 137  | 140                           | -38   | <b>Medio</b>             |
| <b>Papa-Maiz-Haba-Pastos</b>                            |  | 150    | 152    | 119                            |        | 137  | 140                           | -38   | <b>Medio</b>             |
| <b>Papa-Maiz-Pastos</b>                                 |  | 150    | 152    |                                |        | 137  | 146                           | -35   | <b>Medio</b>             |
| <b>Todo tipo de cultivos ciclo corto-maiz-frutales</b>  |  | 150    | 152    | 119                            |        |      | 140                           | -40   | <b>Alto</b>              |
| <b>Todo tipo de cultivos de ciclo corto-maiz-frejol</b> |  | 150    | 152    | 119                            | 152    |      | 143                           | -43   | <b>Alto</b>              |
|   |  |        |        |                                |        |      |                               |   |                          |
| Zona SubTemplada, Estacion 003<br>Izobamba              | # Dias de Ciclo de Cultivo RCP8.5 (2050)         |        |        |                                |        |      | Promedio<br># Dias<br>Cultivo |   |                          |
|   | Aguacate   | Maiz 1 | Maiz 2 | Cultivos ciclo<br>corto (haba) | Frejol | Papa |                               |   |                          |
| <b>Aguacate-Chirimoya-Frutales</b>                      | 282  |        |        |                                |        |      | 282                           |   |                          |
| Caña de Azucar-Frutales- <b>Maiz</b>                    |  | 97     | 95     |                                |        |      | 96                            |   |                          |
| Frutales-Caña de azucar- Palmito                        |  |        |        |                                |        |      |                               |   |                          |
| Frutales- <b>Maiz-Cultivos ciclo corto(haba)</b>        |  | 97     | 95     | 60                             |        |      | 84                            |   |                          |
| <b>Maiz y fréjol</b>                                    |  | 97     | 95     |                                | 72     |      | 88                            |   |                          |
| <b>Maiz-Frejol</b>                                      |  | 97     | 95     |                                | 72     |      | 88                            |   |                          |
| <b>Maiz-Fréjol-Habas-Hortalizas</b>                     |  | 97     | 95     | 60                             | 72     |      | 81                            |   |                          |
| <b>Papa-Haba-Maiz-Pastos</b>                            |  | 97     | 95     | 60                             |        | 94   | 87                            |   |                          |
| <b>Papa-Maiz-Haba-Pastos</b>                            |  | 97     | 95     | 60                             |        | 94   | 87                            |   |                          |
| <b>Papa-Maiz-Pastos</b>                                 |  | 97     | 95     |                                |        | 94   | 95                            |   |                          |
| <b>Todo tipo de cultivos ciclo corto-maiz-frutales</b>  |  | 97     | 95     | 60                             |        |      | 84                            |   |                          |
| <b>Todo tipo de cultivos de ciclo corto-maiz-frejol</b> |  | 97     | 95     | 60                             | 72     |      | 81                            |   |                          |

Tabla 4. Determinación del nivel de sensibilidad del periodo de crecimiento en la asociación de cultivos agrícolas para el DMQ.

La sensibilidad de los cultivos agrícolas en combinación con las diferentes regiones climáticas propuestas por la Secretaria del Ambiente de Quito (Figura 2) y los cambios correspondientes al periodo de crecimiento, se identifica como la vulnerabilidad de los cultivos agrícolas. Dicha vulnerabilidad del periodo de crecimiento se representa espacialmente en la Figura 12.

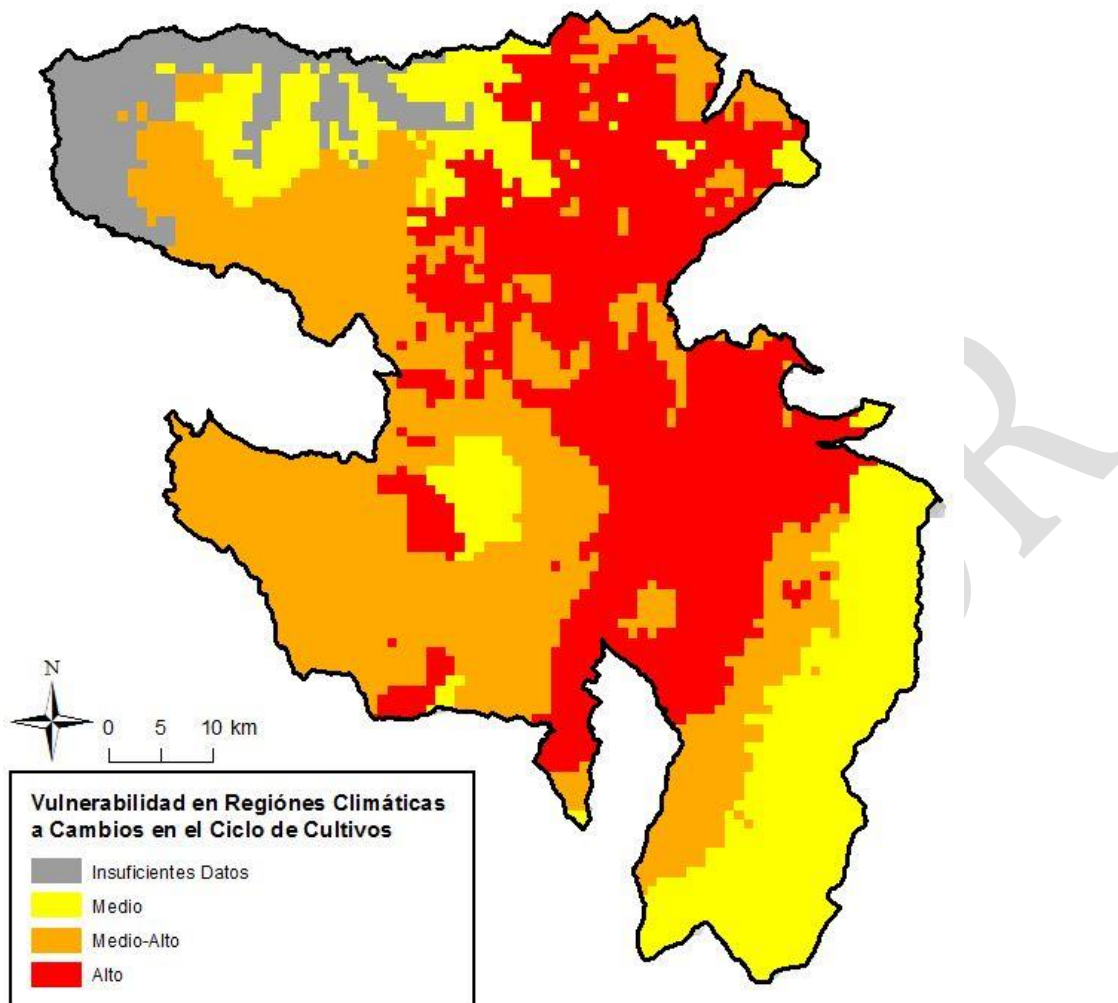


Figura 11. Representación espacial de la vulnerabilidad al cambio en el ciclo de cultivos agrícolas para el DMQ. Los cultivos representados son: Aguacate, Maíz, Fréjol, Haba, Papa, Cultivos de ciclo corto (representados por Haba), todo tipo de cultivo ciclo corto. El área representada como Insuficientes Datos, hace referencia a la ausencia de datos de los cultivos perennes como palmito y frutales para su análisis.

Se debe considerar que la Figura No12. tiene la limitante de considerar exclusivamente el análisis del incremento de las temperaturas en base a la estación Izobamba (3058 msnm). Esta ha sido extrapolada para todo el DMQ, lo cual genera una inadecuada representación espacial de este efecto en la zona tropical de DMQ (alturas menores a 1000), para lo cual se requiere un análisis con estaciones meteorológicas ubicadas en la zona tropical.

#### EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD DE LOS PÁRAMOS DEL DMQ AL INCREMENTO DE TEMPERATURAS

La determinación de la exposición del DMQ al incremento de temperaturas a través de la cobertura vegetal y en específico de los cultivos y su distribución espacial es fundamental. Con

ello se exploró el cambio potencial en la frontera agrícola superior de la cuenca y enfocándose en el cultivo potencial del área de paramos por cultivos agrícolas.

Este análisis se centró en el cultivo potencial de los páramos ante el aumento de las temperaturas. La preocupación principal es que muchas de las zonas altas de los páramos que actualmente son demasiado frías para los cultivos de la región, puede aumentar en arabilidad o condiciones de cultivo para estas zonas. Esto conforme las temperaturas medias anuales se incrementen, consecuentemente, la frontera agrícola probablemente se expandirá a altitudes mayores en estas regiones.

Los páramos en el DMQ están más o menos definidos por todo el área que existe a una altura superior a los 3800 msnm, y que asciende a alrededor de 485 km<sup>2</sup> (11.5% de la superficie del DMQ). Actualmente sólo el 2.5% (11 a 12 km<sup>2</sup>) de la zona de páramos esta siendo cultivada, mientras que aproximadamente el 20-25% del área por debajo de los 3800 msnm son usados por cultivos o pastos en el DMQ. Si bien es imposible predecir cuanto se expandirá la frontera agrícola en respuesta a temperaturas más cálidas, es seguro asumir que los páramos están bajo amenaza significativa por el aumento de los cultivos, debido a la evolución histórica del uso del suelo y el crecimiento de poblaciones.

Con el fin de especular sobre el aumento posible de las áreas de cultivo en los páramos, primero fue necesario caracterizar donde están en la actualidad los cultivos agrícolas en términos de altitud y temperatura. Teniendo en cuenta esto, los patrones en las zonas de gran altitud podrán inferirse exclusivamente en base a las temperaturas. En otras palabras, si las temperaturas medias del páramo aumentan de 6 a 8.5 °C para el año 2050, el cultivo en estas áreas puede ser el reflejo de las regiones de menor elevación que actualmente cuentan con temperatura promedio de 8.5 °C. La Figura 13 muestra los patrones de uso del suelo agrícola y urbano de cada banda de elevación en rangos de 200 m (> 1000m) en el DMQ, junto con la temperatura media anual actual y futura.

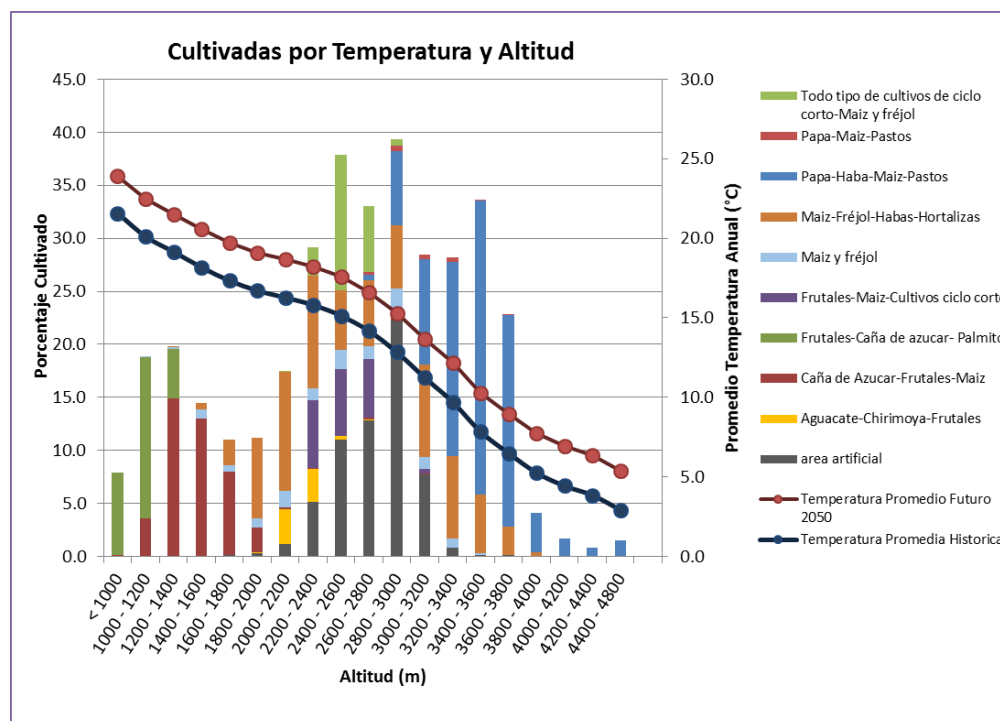


Figura 12. Composición de cultivos agrícolas por altitud y temperatura.

Dado que hay mucha competencia en el uso del suelo y con diversas limitaciones por debajo de la línea de los páramos (es decir, los bosques protegidos, áreas urbanas, etc.), sólo se analizaron las regiones altas con elevación por encima de los 3400 msnm para predecir la expansión de la agricultura sobre los páramos. Como se observa más claramente en la Figura 13, la frontera agrícola actual está delimitada en alrededor de los 3400 – 3800 msnm; encima de la cual hay muy pocos cultivos. Si esta frontera se expande a los páramos, por el incremento en las temperaturas, es probable que los cultivos que están siendo cultivados actualmente en la banda de elevación 3400 – 3800 msnm, se puedan cultivar en las elevaciones de los páramos actuales. Estos cultivos son sobre todo papa y pasto, con pequeñas cantidades de maíz, frijol, haba, y hortalizas. La Figura 14 presenta los mismos datos que la Figura 12, con un “zoom” en las altitudes superiores a los 3400 msnm.

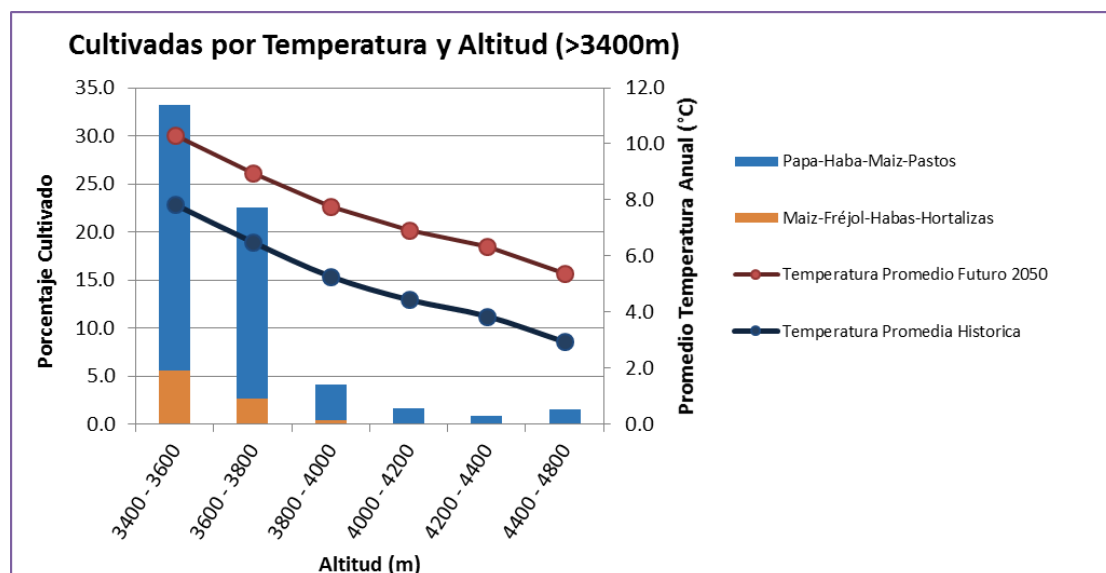


Figura 13. Cultivos en bandas de elevación superiores.

Los valores anteriores de la Figura 14 se tabulan a continuación, con su superficie total cultivada expresada en porcentaje para cada banda de elevación.

| Altitud (msnm) | Maíz-Fréjol-Haba-Hortalizas (% área) | Papa-Haba-Maíz-Pastos (% área) | Suma % Cultivada | Temperatura promedio (2012) | Temperatura Promedio (2050) |
|----------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 3400 - 3600    | 8.1                                  | 15.1                           | 33.5             | 7.8                         | 10.3                        |
| 3600 - 3800    | 6.9                                  | 22.1                           | 22.6             | 6.5                         | 9.0                         |
| 3800 - 4000    | 5.4                                  | 27.2                           | 4.1              | 5.3                         | 7.8                         |
| 4000 - 4200    | 3.6                                  | 22.4                           | 1.6              | 4.4                         | 6.9                         |
| 4200 - 4400    | 2.4                                  | 17.9                           | 0.8              | 3.9                         | 6.3                         |
| 4400 - 4800    | 0.6                                  | 5.3                            | 1.2              | 2.9                         | 5.4                         |

Tabla 5. Superficie de cultivo por banda de elevación

Podemos ver que los incrementos medios anuales en temperatura son de alrededor de 2.5 °C para cada banda de elevación de 200 m (para la proyección del escenario más adverso), y que para regiones como la banda 3800 - 4000 msnm, las temperaturas promedio en el 2050 pueden llegar a ser similares a las temperaturas promedio de la banda 3400 - 3600 msnm del año 2012 (aproximadamente 7.8 °C). Actualmente, más del 30% de la superficie en la banda

3400 – 3600 msnm está siendo cultivada, y sólo un 4 a 5% de la superficie de la banda 3800 - 4000 es actualmente cultivada. Sin embargo, si las temperaturas en la banda 3800-4000 se vuelven similares a las temperaturas de la banda 3400-3600, podríamos esperar que el área de cultivo aumente en esta banda hasta un 25-30%, como respuesta a las futuras temperaturas que serán más cálidas y que reflejen los patrones que actualmente son observados en las elevaciones más bajas con temperaturas similares. Un análisis similar se realizó para cada banda de elevación por encima de los 3800 msnm.

La comparación de las temperaturas futuras con las temperaturas actuales y el pronóstico de una estimación a futuro del aumento de cultivos están basado en este análisis. Las predicciones de las áreas de cultivo en la zonas de páramos a futuro, es que pudieran aumentaran. Es conveniente aclarar que este supuesto no considera las políticas de protección a los páramos que sin duda se implementaran, acciones concretas de protección por parte de las entidades de gobierno, población, etc. En base solo al supuesto mencionado se resumen a continuación los posibles resultados a esperar en la Tabla 6. Esto con una suposición simplificada de que la frontera de cultivo está determinada, en gran medida, por los patrones de temperatura en la zona de elevación alta. Los resultados se generalizan en rango de porcentaje de cambio en el área total cultivada por elevación.

| Altitud (msnm) | Área Total (km <sup>2</sup> ) | % Área Cultivada 2012 | Rango de Aumento en % de Área Cultivada 2050 (%) | Rango de Aumento en Área Cultivada 2050 (km <sup>2</sup> ) | Sensibilidad* |
|----------------|-------------------------------|-----------------------|--|--|---------------|
| 3600 - 3800    | 142.2                         | 22.6                  | 10 a 15  | 14 a 21  | Medio         |
| 3800 - 4000    | 182.6                         | 4.1                   | 25 a 30  | 45 a 55  | Alto          |
| 4000 - 4200    | 211.0                         | 1.6                   | 20 a 25  | 42 a 53  | Alto          |
| 4200 - 4400    | 81.5                          | 0.8                   | 15 a 20  | 12 a 16  | Medio         |
| 4400 - 4800    | 9.8                           | 1.6                   | 0 a 5  | 0 a 1  | Bajo          |

Tabla 6. Nivel de sensibilidad en bandas de elevación.

\*Ver definición de sensibilidad abajo en el texto

Se observa a partir de estos resultados que la superficie en la bandas de elevación 3800 – 4200, son más susceptible a incrementos mayores en superficie cultivada. Sin embargo, la superficie total dedicada al cultivo en zonas más bajas, donde ya existen cultivos es significativa, y es probable que todavía sea mayor (3600 – 3800). El hecho de que en la banda



3600 - 3800 no se predice un aumento en la superficie cultivada como en las bandas 3800 – 4200, es debido al hecho de que ya existe una superficie cultivada significativa (22.6 %). Por lo tanto, la cantidad relativa de aumento puede ser mayor en las regiones más altas, debido a que tienen muy poca agricultura. Existen limitaciones significativas a nuestro análisis y supuestos, y es posible que los aumentos mayores en las tierras cultivadas pueden continuar ocurriendo, en las zonas que ya están altamente cultivadas (como las bandas 3400 – 3800), a pesar de la presencia de temperaturas más cálidas. Sin embargo, dado nuestro ejercicio hipotético, las temperaturas más cálidas podrían significar que las nuevas regiones de páramos, es decir de 3800 – 4400 msnm, podrían experimentar aumentos significativos en las áreas de cultivo.

#### DEFINICIÓN DE EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD, CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD

**Exposición:** Dado que la exposición al aumento de la temperatura fue más o menos uniforme en todas las regiones de alta elevación del DMQ (aumento de más o menos 2.5 °C para el año 2050) en el escenario climático más adverso, la exposición de todas las bandas de elevación se considera "Alta".

**Sensibilidad:** La sensibilidad se define como el potencial de aumento en el cultivo (en %) basado en los supuestos de nuestro análisis. En gran medida, está en función de la proximidad a las tierras cultivadas existentes (proximidad a la frontera agrícola existente), y cuando se combina con la magnitud del aumento de la temperatura, se determina una vulnerabilidad general. Se asignaron valores cualitativos de “Bajo”, “Medio” y “Alto” basado en la cantidad de aumento potencial en porcentaje de área cultivada (rango de aumento en superficie cultivada (%)).

Bajo = 0 – 10%

Medio = 10 – 20%

Alto = 20 – 30%

**Vulnerabilidad:** Dado que la exposición es constante a través de los páramos (“Alto”), las diferencias en la vulnerabilidad entre varias bandas de elevación, son un reflejo de las diferencias en la sensibilidad. La Tabla 7 muestra a continuación la exposición, sensibilidad y vulnerabilidad determinadas.

Tabla 7. Nivele de exposición, sensibilidad y vulnerabilidad.

| Altitud (msnm) | Exposición | Sensibilidad* | Vulnerabilidad |
|----------------|------------|---------------|----------------|
| 3600 - 3800    | Alto       | Medio         | Medio-Alto     |
| 3800 - 4000    | Alto       | Alto          | Alto           |
| 4000 - 4200    | Alto       | Alto          | Alto           |
| 4200 - 4400    | Alto       | Medio         | Medio          |

|             |      |      |      |
|-------------|------|------|------|
| 4400 - 4800 | Alto | Bajo | Bajo |
|-------------|------|------|------|

Cabe señalar que tanto las bandas 3600 - 3800 y 4200 - 4400 tienen sensibilidades de “Medio”, pero esto es por dos razones diferentes. El “Medio” para la banda 3600 - 3800 representa el hecho de que ya existe un área de cultivo en estas alturas, y el aumento relativo en el cultivo en esta banda (10 - 15%) es menor que el aumento en las bandas 3800 - 4200 (20 - 30%). Sin embargo, la superficie total cultivada en la banda 3600 - 3800 es todavía mayor (ver Tabla 8), por lo que su vulnerabilidad general se consideró “medio-alto”, debido a su condición ya deteriorada. Sin embargo, en el caso del valor “Medio” de la sensibilidad y la vulnerabilidad de la banda 4200 - 4400, es un reflejo de las temperaturas que relativamente son aun frías en estas altitudes, y sólo representan una pequeña a moderada cantidad del área de cultivo total.

Tabla 8. Áreas de cultivo en bandas de elevación

| Altitud (m)    | Área cultivada<br>2012 (km <sup>2</sup> ) | Área cultivada<br>2050 (km <sup>2</sup> ) |
|----------------|---|---|
| 3600 -<br>3800 | 32.1                                      | 46 a 53                                   |
| 3800 -<br>4000 | 7.4                                       | 53 a 63                                   |
| 4000 -<br>4200 | 3.5                                       | 45 a 56                                   |
| 4200 -<br>4400 | 0.6                                       | 13 a 17                                   |
| 4400 -<br>4800 | 0.2                                       | 0 a 1                                     |

## 2.5 CONCLUSIONES SECTOR AGRÍCOLA

El presente estudio identifica los efectos potenciales de la variabilidad climática en los cultivos agrícolas en la zona interandina el Distrito Metropolitano de Quito. El estudio identifica que los cultivos agrícolas del DMQ potencialmente se verán afectados en dos formas por el incremento de las temperaturas promedio al año 2050. Un primer efecto definido como positivo en correspondencia con el incremento de las temperaturas, indica que el factor de reducción en crecimiento de cultivos será inicialmente positivo. En otras palabras, se espera que el incremento en temperaturas tendrá un efecto benéfico al desarrollo de los cultivos, ya que las temperaturas medias pronosticadas a futuro serán muy similares a las temperaturas óptimas de desarrollo de los cultivos. El segundo efecto del incremento en las temperaturas, indica que habrá una acumulación más rápida de las unidades de calor requeridas durante el ciclo de crecimiento de cultivos. Con ello, los ciclos de crecimiento de los cultivos en el DMQ se verán acortados en tiempo o duración. Esto tomando en cuenta que las fechas de siembra y las

variedades de cultivos agrícolas serán las mismas en un futuro como son ahora. De antemano sabemos que no todos estos supuestos sucederán tal cual.

La vulnerabilidad espacial de los cultivos agrícolas dentro del DMQ se determinó en tres niveles: (i) Medio, (ii) Medio-Alto, y (iii) Alto para los cultivos bajo estudio que fueron: Aguacate, Maíz, Fréjol, Haba, Papa, Cultivos de ciclo corto (representados por Haba), y todo tipo de cultivo ciclo corto.

En el presente estudio también se analiza la expansión de la frontera agrícola en la zona Interandina del DMQ, específicamente en las altitudes mayores a los 3400 msnm donde se ubica el ecosistema de páramos. Es de importancia indicar que los resultados obtenidos en esta sección, fueron determinados únicamente en función de los incrementos en las temperaturas promedio al año 2050 y por bandas de elevación con incrementos en 200 metros. La expansión de la frontera agrícola se determinó en base al supuesto que, para una banda de elevación determinada (por ejemplo 3600-3800 msnm), las temperaturas en la banda superior inmediata (3800-4000 msnm) en un futuro (2050), serán muy similares a las temperaturas actuales en la banda inferior y por consiguiente, el área agrícola de la banda inferior será potencialmente desarrollada en la banda superior. Con esto se puede tener una migración de las áreas de cultivo a altitudes mayores. Un resultado directo de este análisis es que las áreas de los páramos se verán amenazadas por la expansión de la frontera agrícola. Bajo este supuesto las posibles áreas de cultivos estimadas en la zona de páramos por bandas de elevación se presentan en la Tabla 8.

El presente estudio tiene ciertas limitantes en su desarrollo y aplicación que es de importancia mencionar, para tener una mayor comprensión de los resultados obtenidos. Una primera limitante es que el estudio únicamente considera la temperatura como única variable meteorológica de estudio; se omite precipitación. La información histórica está reducida a la estación de Izobamba, por ser la estación con el record histórico diario más extenso de 1960-2012. La estación de Izobamba puede representar las condiciones climáticas de la zona Interandina ubicadas en altitudes similares, pero no las condiciones climáticas existentes en la zona tropical del DMQ. Por lo tanto, se requiere un análisis similar con información meteorológica de las zonas en las cuales no existe información adecuada. En cuanto a la expansión de la frontera agrícola es de importancia señalar que estos resultados no toman en cuenta las diferentes políticas de protección y mejoramiento de los páramos que se tienen actualmente y las futuras políticas de protección, que sin duda alguna van a ser implementadas; así como acciones concretas de protección por parte de gobiernos, instituciones y población en general.

Dentro de los retos a futuro, se identifica que un estudio similar es necesario implementar para la zona tropical, la zona interandina seca y semi-seca del DMQ. El análisis debe incluir los cultivos de mayor importancia en estas zonas y en especial la zona tropical, los cuales son frutales, palmito, cítricos, caña de azúcar y otros cultivos predominantes de la zona tropical. Un análisis que considere el efecto de la precipitación será de mucha importancia, ya que

precipitación juega un rol primordial en el desarrollo de los cultivos agrícolas bajo temporal, siendo que las áreas bajo riego son mínimas en esta parte del Ecuador.

Por último la implementación de un modelo de crecimiento de plantas, como el modelo PGM de WEAP, se recomienda implementar para determinar la vulnerabilidad ante el cambio climático y los incrementos en las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico del sector agrícola del DMQ en términos de producción de rendimientos y producción de alimentos.

BORRADOR