

Universidad Estatal Amazónica



TEMA:

***“INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CAUDAL
DEL RIO PUYO Y SUS EFECTOS EN LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DE LA PROVINCIA DE
PASTAZA EN ECUADOR”***

AUTOR: Héctor Gerardo Llerena Vargas

TUTOR: MSC. ABEL BORDÓN CRUZ

CONSULTANTE: DR. PHD. HUMBERTO MILLÁN

PUYO, JUNIO, 2009

AGRADECIMIENTO

*El presente trabajo va dirigido con expresión de gratitud
Muy fervorosa para Dios, mi familia y mis Maestros
Que con amor y sacrificio, vertieron todo su apoyo en mí
alma y supieron dar vigor a mí espíritu»*

*JA mí querida Institución la Universidad Estatal
Amazónica ser el altar sagrado de la educación que
he recibido, porque en sus aulas conocí los más gratos
recuerdos que no olvidaré.*

*TLC agradecimiento a Cas instituciones que me abrieron
Cas puertas cuando necesité, y me supieron apoyar
incondicionalmente, en el adelanto de mí superación.*

DEDICATORIA

El trabajo va dirigido con gratitud y Admiración para el Doctor Jabel Bordón tutor de Ca tesis de grado, quien con mística, paciencia, sabiduría y entusiasmo deposito en mí, sus vastos conocimientos y todo su apostolado, lo que sembró en mí todo el conocimiento.

institutito Nacional de Meteorología e hidrología INJAMJ-tt con su representante en el tecnolgo Hené JAonte, quien gracias a sus conocimientos, fue orientado con la información de menester para nuestro trabajo.

La comunidad de Xlena de villano, quienes con amor y sabiduría, depositaron en mí, su esperanza para enfrentar Ca vida con seguridad y decisión a su desarrollo.

Tara mí abnegado hijo, que es en fundamentalmente con la fortaleza, y superación, en el transcurso de mí vivir.

DECLARACIÓN JURADA DEL AUTOR.

Por medio de la presente declaro ante la Dirección Académica de la Universidad Estatal Amazónica, en Puyo, Provincia de Pastaza, que la tesis presentada es de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona al no ser el referenciado debidamente en el texto; parte de ella, o en su totalidad, no ha sido aceptada para el otorgamiento de cualquier otro diploma de una institución nacional o extranjera.

Autor: Gerardo Llerena Vargas

DECLARACIÓN DE LOS AUTORES.

Como autores del trabajo presentado, el Diplomante Gerardo Llerena Vargas y el tutor. MSc. Lie. Abel Anselmo Bordón Cruz declaramos que autorizamos a la Universidad Estatal Amazónica, radicada en Puyo, Provincia de Pastaza, en Ecuador, a hacer uso del material presentado, para fines docentes, y para consultas en futuros trabajos de investigación, bajo las normas nacionales e internacionales del derecho de autor. Para que conste firmamos la presente declaración:

Puyo, 7 de julio de 2009

Diplomante: Gerardo Llerena Vargas

Tutor: MSc. Lie. Abel Bordón Cruz

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema de la investigación	2
Objeto de la Investigación	2
Campo	
2	
Hipótesis.....	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Métodos Empleados	3
CAPITULO I ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	
1. Afectaciones del caudal por efecto del cambio climático en países Asiáticos y Europeos.....	4
1.1. Afectaciones del Cambio Climático en las Cuencas Hídricas	4
1.2. Cambio Climático Reduce Humedales y Caudal de Ríos en China.....	5
1.3. El Cambio Climático y el Caudal del Guadiana y el Tajo	6
1.4. Efecto del Cambio Climático en la Cordillera del Pirineo	7
1.5. Afectaciones en América del Sur.....	9
1.5.1. Análisis de los efectos del Cambio Climático sobre los regímenes de las Cuencas en Chile Central.	9
1.5.2. Impacto del Cambio Climático en el Caudal de los Ríos de Argentina	9
1.6. Afectaciones de caudales por Efecto del Cambio Climático en Ecuador.....	11
1.6.1 El Proceso del Cambio Climático en Ecuador.....	11
1.6.2. Los Nevados se Derriten.....	11
1.6.3. Causas del Cambio Climático y Medidas de Mitigación	12
1.6.4. Impacto del Cambio Climático sobre las Cuencas del Ecuador.....	13
1.6.5. Oferta de los Recursos Hídricos en el Ecuador	14
1.6.5.1. Escenario Base.....	14
1.6.5.2. Escenario ECC1	15
1.6.5.3. Escenario ECC2	15
1.6.5.4. Escenario ECC3	15
1.6.5.5. Escenario ECC4	15

1.6.7. Cuenca del Rio Puyo -----	17
CAPITULO II	
2. Materiales y Métodos -----	18
2.1. Caracterización de la Provincia de Pastaza -----	18
2.2. Característica del Rio Puyo -----	19
2.3. Aspecto Biofísico de la Cuenca del Rio Puyo -----	20
2.4. Estación Meteorológica del INAMHI en Puyo -----	20
2.5. Materiales -----	21
2.5.1. Insolación (Heliógrafo) -----	21
2.5.2. Precipitación (Pluviómetro y Pluviógrafo) -----	22
2.5.2.1. Medidas de Precipitación -----	22
2.5.3. Evaporación (Tanque Clase "A") -----	23
2.5.3.1. Medidas de Evaporación -----	23
2.5.4. Temperatura (Termómetros) -----	23
2.5.4.1. Medidas de Temperatura -----	24
2.5.5. Humedad Relativa (Psicrómetro) -----	24
2.6. Métodos -----	24
2.6.1. Tratamiento Estadístico con el Software EXCEL 2007 -----	24
2.6.2. Tratamiento Estadístico con el Software STATGRAPHICS -----	25
2.6.3. Tratamiento Estadístico con el Software SPSS -----	25
CAPITULO III	
3. Discusión de Resultados -----	26
3.1. Análisis del Comportamiento de las Variables Climáticas -----	26
3.1.1. Temperatura Media de las Estaciones por Décadas -----	26
3.1.2. Evaporación de las Estaciones por Décadas -----	28
3.1.3. Humedad Relativa de las Estaciones por Décadas -----	29
3.1.4. Insolación de las Estaciones por Décadas -----	30
3.1.5. Precipitación de las Estaciones por Décadas -----	32
3.2. Correlación entre Variables Climatológicas -----	33
4. Conclusiones Generales -----	38
5. Recomendaciones -----	40
6. Bibliografía -----	41

RESUMEN

En la presente investigación se hace una recopilación de reportes internacionales y nacionales ecuatorianos acerca del impacto y el comportamiento de diferentes variables climatológicas, sobre las aguas superficiales y subterráneas en diferentes cuencas hidrográficas. Se procesan los registros climatológicos existentes en la cuenca del Río Puyo con técnicas de la estadística paramétrica y se confeccionan los gráficos y tablas del comportamiento de las variables temperatura, insolación, humedad relativa, precipitación y evaporación de acuerdo a sus valores medios según series de 10 y de 7 años, analizadas según las cuatro estaciones climáticas del año. Se presentan las conclusiones sobre el impacto de la variación no natural en el cambio de las variables estudiadas sobre el comportamiento de las aguas subterráneas y superficiales en la cuenca del Río Puyo en la provincia de Pastaza en la Amazonia Ecuatoriana.

SUMMARY

In the present investigation a summary of Ecuadorian international and national reports is made about the impact and the behavior of different climatologically variables, on the superficial and underground waters in different basins hydrographical. The existent climatologically registrations are processed in the basin of the River Puyo with technical of the parametric statistic and the graphics and charts of the behavior of the variable temperatura are made, heatstroke, relative humidity, precipitation and evaporation according to their mean values according to series of 10 and of 7 years, analyzed according to the four climatic stations of the year. They are presented the summations on the impact of the non natural variation in the change of the variables studied on the behavior of the underground and superficial waters in the basin of the River Puyo in the county of Pastaza in the Ecuadorian Amazonia.

INTRODUCCIÓN.

La generación y emisión de gases a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles, y otras actividades humanas en el planeta están alterando su composición natural; la variabilidad climatológica como, la temperatura media en la superficie, la evaporación, precipitación, humedad relativa y otros parámetros, experimentan cambios apreciables e irreversibles a nivel de todo el globo terrestre. La temperatura promedio del planeta ha aumentado aproximadamente 0.6°C en los últimos 135 años; con el mayor calentamiento concentrado en los últimos 15 años (**WMO, 1995**). Es un hecho comprobado la relación de este calentamiento con el incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero (**Thomson, 1995**). Tanto en los escenarios de calentamiento dramático, como en los de un calentamiento moderado, el agua es uno de los factores principales a tener en cuenta. Se incluye cambios en los regímenes de lluvias, evaporación y escorrentía. A nivel mundial hay evidencia contundente sobre tendencias crecientes en los caudales en Norte América y en la antigua Unión Soviética (**Lins y Michael, 1994**).

En Colombia hay reportes acerca del incremento y decremento de las variables atmosféricas como las temperaturas mínima y media, precipitación, evaporación, punto de rocío y presión de vapor (**Hense Et al. 1988**).

En el presente trabajo, se evidencian señales de cambio climático a partir de la recolección y tratamiento estadístico de los datos climatológicos registrados por la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de Ecuador, situada en la Ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza. En términos generales se implementan varias técnicas estadísticas de análisis para identificar señales de cambio en los registros climáticos, que están comprendidos en los años desde 1974 a 2009 divididos para su análisis en períodos o series de 7 y 10 años, así como también se analiza la correlación entre variables climáticas, su distribución normal y la varianza.

Procesado todos éstos registros de variables climatológicas (Temperatura Media, Precipitación, Evaporación, Humedad Relativa e Insolación, según las estaciones del año en cada década estudiada) de los últimos 35 años, recopilados, y su procesamiento, se llega a una idea, en primera aproximación, del comportamiento general del clima en la región objeto de estudio en el período analizado como factor de influencia determinante en el caudal del río Puyo en la región Amazónica de la provincia de Pastaza en Ecuador.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

No existe un estudio que caracterice el cambio en los valores medios de las variables meteorológicas temperatura, precipitación, evaporación, insolación y humedad relativa, y su posible influencia sobre el caudal del río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana.

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.

Variables meteorológicas que determinan el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas que influyen en el caudal del río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana.

CAMPO.

Estudio del comportamiento de los valores medios de la temperatura, precipitación, evaporación, insolación y la humedad relativa, en el período 1974-2009, y su posible influencia en el caudal del Río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana.

HIPÓTESIS.

Si se estudia el comportamiento de los valores medios de las variables meteorológicas, de modo que se analice cualitativamente, su vínculo con el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas, para la cuenca del río Puyo, entonces se caracteriza el cambio en los valores medios de las variables meteorológicas temperatura, precipitación, evaporación, insolación y humedad relativa, y su posible influencia sobre el caudal del río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana.

OBJETIVOS:

GENERAL.

Caracterizar el comportamiento de las variables meteorológicas temperatura, precipitación, evaporación, insolación y humedad relativa y su influencia cualitativa en el caudal del Río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana.

ESPECÍFICOS.

1. Determinar la evolución histórica del estudio de las variables meteorológicas que influyen en el caudal de los ríos.
2. Caracterizar física, geográfica y meteorológicamente la región que comprende la cuenca del río Puyo.

3. Procesar estadísticamente los registros sobre las variables climatológicas temperatura, insolación, evaporación, humedad relativa y precipitación en la cuenca del Río Puyo.

MÉTODOS EMPLEADOS.

En la investigación se utilizan métodos de nivel teórico para analizar y sintetizar la búsqueda bibliográfica relacionada con el tema; los métodos empíricos permitieron la recolección de la información; los métodos estadísticos de distribución normal, valores medios, correlación y varianza permitieron el tratamiento y análisis de todos los registros meteorológicos de las variables estudiadas, el análisis y síntesis de los resultados permitió arribar a las conclusiones del trabajo.

^

CAPITULO I

ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

^

1.- AFECTACIONES DE CAUDALES POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS PAÍSES ASIÁTICOS Y EUROPEOS.

1.1.- Afectaciones del Cambio Climático en las Cuencas Hídricas.

En las últimas décadas se ha creado una conciencia mundial en relación a los cambios climáticos que se manifiestan en el planeta. Debido principalmente al incremento de la temperatura de la troposfera baja, estos cambios son ocasionados por el aumento en la concentración de gases que provocan el efecto invernadero (principalmente CO₂). Este calentamiento global podría afectar los regímenes de precipitaciones, y con esto el comportamiento de los caudales de los ríos, en particular aquellos de régimen aluvial.

La humanidad está amenazada por el calentamiento global. Esta es una frase que impacta a la humanidad, y no por las mismas razones. Los grandes consumidores de combustibles fósiles en automóviles o industrias, la transformación de la biosfera no parecen preocuparles mucho aun. Mientras tanto, ante buena parte de la opinión pública, la ciencia y los grupos ecologistas, el tema se presenta como alarmante: se trata, de nuestro futuro en el planeta, y existen razones para creerlo. Desde los polos hasta los trópicos el retroceso de los glaciares, es un signo confiable del cambio climático, y en especial una de sus manifestaciones, el calentamiento de la atmósfera, es un hecho real y no solamente una hipótesis. Los científicos saben que el clima en la Tierra cambia naturalmente (el planeta ha pasado por glaciaciones y períodos interglaciares), pero en la actualidad está probado, que la actividad humana ha acelerado el ritmo de transformación, provocando desequilibrios y comportamientos del clima que en algunos casos es irreversible.

La evolución del clima a lo largo de la historia de la Tierra ha experimentado numerosos cambios que obedecen a ciclos dinámicos naturales. Sin embargo, al observar esta evolución en el último siglo, no se puede afirmar que dichos ciclos hayan seguido una tendencia clara, están referidos en su mayoría a causas antrópicas de emisión de gases de efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono. Existe una tendencia a aumentar la temperatura global del planeta, en relación a lo acontecido en siglos anteriores, que puede relacionarse con el aumento de dichas emisiones. **(Walther et al., 2002).**

Existen, además, numerosos estudios realizados mediante simulación que tratan de dar información sobre la evolución futura del clima en la Tierra y prevén un mayor

incremento de las temperaturas. Se han observado otros cambios en la circulación del aire atmosférico, en las precipitaciones, en el nivel del mar y en el desarrollo de glaciares (**Walther et al., 2002**).

En la actualidad numerosos informes de la ciencia y de la prensa dan fe de la afectación que sufren los ríos a nivel de países Europeos, de América del Sur y a nivel del Ecuador, debido al cambio climático.

Reportes recientes de la prensa China dan cuenta de que el cambio climático está afectando considerablemente la disminución de caudales de los ríos de ese país.

1.2.- Cambio Climático Reduce Humedales y Caudal de Grandes Ríos en China.

La reducción de los humedales en el lugar de nacimiento de los dos mayores ríos chinos, el Yangtsé y el Río Amarillo, ligados al cambio climático, han supuesto la disminución del caudal de ambos ríos, según los científicos chinos.

Expertos del Instituto de Riesgos y Medio Ambiente de las Montañas, ligado a la Academia de Ciencias de China, han estudiado los cambios ocurridos en las últimas cuatro décadas en los humedales de la fría Meseta Qinghai-Tíbet, situada en el oeste de China, lugar de nacimiento de los dos ríos.

Tras analizar fotos aéreas y los datos de sensores remotos instalados en satélites, "los científicos, han hallado que los humedales de la meseta se han reducido en más de un 10% en los últimos cuarenta años, teniendo a los humedales donde se origina el Yangtsé, como los más afectados con una pérdida de superficie del 29%. A esto hay que añadir la pérdida total del 17,5 % de los pequeños lagos en el origen del Yangtsé". **Wang Xugen (2007)**.

Wang Xugen (2007), continúa planteando que, "los humedales desempeñan un papel fundamental en la conservación del agua y el ajuste del caudal de los ríos".

Según el mismo autor "La reducción de los humedales de la meseta está íntimamente vinculada con el calentamiento global", y a pesar de que las lluvias se han incrementado en la región, la pérdida de humedales ha reducido el caudal de los dos mayores ríos chinos.

Los datos de la estación meteorológica del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), en el curso superior del Yangtsé muestran que el volumen anual de precipitaciones en la región pasó de 260 milímetros entre 1991 y 2000 a 323 milímetros entre 2001 y 2006.

"Pero el aumento de las precipitaciones no ha generado un mayor caudal en el río debido a la rápida evaporación resultante del calentamiento global", afirma Li **Shijie** (2007).

Otro estudio de la estación meteorológica del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), Indica que el calentamiento global ha generado la reducción de los glaciares, la pérdida de pastos y el agotamiento de los ríos en Tíbet.

"La meseta Qinghai-Tíbet solía albergar 36.000 glaciares que sumaban una superficie de 50.000 kilómetros cuadrados y que alimentaban a varios de los grandes ríos de China y el sureste asiático. En el último siglo, el área ocupada por los glaciares se ha visto reducida en un 30 por ciento". **Wang Xugen (2007)**.

1.3.- El Cambio Climático y el Caudal del Guadiana y el Tajo.

Según **Barrasa (2008)**, "el cambio climático va a provocar un aumento de las temperaturas medias y una disminución en las precipitaciones que tendrán una consecuencia directa sobre los actuales recursos hídricos. Se espera una disminución del agua disponible de al menos un 11% con respecto a su caudal actual en el caso del Guadiana, ocupada con una superficie de unos 67.500 km² y del 7% en el del río Tajo, el más largo de la península de Iberia" **Barrasa (2008)**.

Según las previsiones que maneja el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España, para un horizonte fijado en el año 2030. Estos datos, que afloran en pleno debate nacional sobre los recursos hídricos y los trasvases, se incluyen en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, que es el marco de referencia para la coordinación entre las administraciones públicas en todo lo relativo a la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático.

En este caso, se ha tomado como referencia un escenario de futuro en el que las temperaturas ascenderán una media de un grado centígrado, y sin que las precipitaciones sufran ningún cambio sustancial. El plan ofrece una previsión de la situación a finales del siglo XXI, en el que las temperaturas medias se incrementarán en 2,5 grados centígrados, y las precipitaciones se reducirán en un 8% con respecto a los valores actuales.

La previsión indica que la Península Ibérica se encuentra, como todo el sur de Europa, entre los lugares más afectados por cambios climatológicos, que podrían reducir, hasta un 24% el caudal del Guadiana y hasta un 17% el del Tajo.

"Una de las consecuencias directas será el aumento de las temperaturas, con una previsión media para España determinada para finales del presente siglo que oscila entre 1,1 y 2,9 grados centígrados como mínimo, y los 2,4 y 6,4 grados como máximo. Esto irá acompañado por una disminución de las precipitaciones, aunque hasta 2030 no se esperan cambios en los valores medios anuales, pero que para finales de siglo serán un 8% inferior. Además, las lluvias serán más irregulares, y se incrementarán los fenómenos climatológicos extremos, con lo que el régimen de crecidas de los ríos también se verá afectado.

En el conjunto del país, se espera una reducción de la disponibilidad hídrica general media del 5%, que se elevará hasta el 20% a finales de siglo. Por cuencas, se prevé que en 2030 la más afectada será la del Guadiana, con una reducción del 11%. La del Tajo, con valores más bajos, de un 7%, se mantendrá no obstante por encima de la media. Las menos afectadas serán las del norte del país, con pérdidas de entre el 2% y el 3%, que se eleva hasta el 5% en el río Ebro el más largo de España y segundo en la península Ibérica después del Río Tajo". **Barrasa (2008)**.

1.4.- Efecto del Cambio Climático en la Cordillera del Pirineo.

Según otro estudio, citado por **López Moreno (2008)**, "Los ríos del Pirineo han perdido un 30% de su caudal en el último medio siglo. El descenso de las precipitaciones y los cambios en los usos del suelo hacen que cada vez haya menos escorrentía". "Los cambios ambientales ocurridos durante el siglo XX en el Pirineo revelan que los ríos que nacen en esta gran cordillera han perdido hasta el 30% de su caudal en los últimos 50 años. La reducción de las precipitaciones y sobre todo las modificaciones en los usos del suelo que han aumentado la vegetación en detrimento de las tierras de cultivo han provocado que la cantidad de agua disponible sea sensiblemente inferior a la de hace unas décadas". **López Moreno (2008)**.

Esa tendencia negativa se ve confirmada por otros factores como la acumulación de nieve en las montañas. Además, el estudio ofrece un escenario de futuro en el que el cambio climático acentuará la disminución de los recursos hídricos, por lo que sus autores consideran que el equilibrio entre la cantidad de agua disponible y las demandas presentes y futuras de la cuenca se va a ver seriamente amenazado, de hecho, los datos muestran que ya se ha producido una drástica reducción en los caudales que dejan salir los pantanos.

López Moreno (2008), concluye, luego de este estudio que: "Hemos analizado varios factores, y todos coinciden en mostrar un panorama preocupante. Si a lo largo del siglo XX, con un cambio climático bastante moderado, los recursos hídricos de! Pirineo se han reducido notablemente, en las próximas décadas nos podemos encontrar con problemas realmente graves para abastecer una demanda que no para de crecer". El objetivo de los autores era estudiar las consecuencias que los cambios ambientales registrados en el Pirineo tienen en la disponibilidad de agua y en la gestión de esos recursos. Para ello, analizaron tres variables estrechamente relacionadas: la precipitación, la evapotranspiración y los caudales de los ríos.

En otra referencia al estudio de los Pirineos, **López Moreno (2007)** asegura que "A partir de los datos de 18 estaciones de aforo, 18 observatorios meteorológicos y los registros de la Confederación, los investigadores crearon un índice regional en el que se plasma la evolución temporal, año a año, de esos factores principales. De esta forma, pudieron observar las tendencias producidas en los últimos 50 años y, sobre todo, posibles distorsiones entre tres variables que deberían evolucionar de forma paralela.

Más adelante **López Moreno (2007)**, asegura que, "Hemos visto que las lluvias sufren una reducción significativa desde el punto de vista estadístico en los meses de febrero, marzo y junio permaneciendo estacionarias el resto del año". Aunque el estudio se basa en tendencias, no en porcentajes, el investigador cifra la disminución de precipitaciones "entre el 15 y el 20%".



tAZON

1.5.- AFECTACIONES EN AMERICA DEL SUR.

1.5.1.- Análisis de los Efectos de los Cambios Climáticos Sobre los Regímenes de las Cuencas en Chile Central.

Brown (2007), en un estudio de la IV y VIII región de Chile, donde los caudales medios mensuales de nueve cuencas, se han analizado en series de tiempo, fueron rellenadas, corregidas y llevadas a régimen natural, obteniéndose series de entre 40 y 65 años de extensión, y que abarcan hasta el año hidrológico 2004/05. En el estudio antes mencionado de **Brown (2007)**, luego de aplicar tratamiento estadístico a base de correlación lineal y analizar la evolución temporal en base a tendencias por décadas en función de las estaciones climáticas, bajo análisis comparativo de las precipitaciones, las temperaturas y la esorrentía, concluye que existe relación entre estos parámetros y sus variaciones se revierten en un aumento del caudal en las cuencas analizadas.

Sin embargo, según el propio **Brown (2007)**, "la mayoría de estos resultados no son estadísticamente significativos". Además, analizando los resultados en forma conjunta de las tendencias de las tres variables comparadas, es posible aventurar algunas hipótesis bastante consecuentes entre sí: Como conclusión más importante se desprende que, efectivamente se está manifestando un cambio en las series de caudales en la gran mayoría de las cuencas analizadas, el cual es posible asociar a un cambio climático en la zona. Esto debido principalmente a la tendencia de aumento de las temperaturas, en particular **de** las temperaturas mínimas. Lo anterior se manifestaría, en los caudales principalmente, como una redistribución de los caudales estacionales, con aumentos importantes de caudal en invierno y disminuciones en primavera y verano".

Esta conclusión de **Brown (2007)**, es significativamente importante por cuanto refiere presencia de cambio climático en un área relativamente cercana a la selva amazónica, la cual tiene influencia en todo el clima mundial y particularmente en toda la región latinoamericana.

1.5.2.- Impacto del Cambio Climático en el Caudal de los Ríos Argentinos. Según **Estrada Oyuela (2007)**, "Los cambios climáticos que se están registrando en el mundo como consecuencia del calentamiento global provocarán un fuerte impacto en la Argentina, y algunos de sus efectos ya se están empezando a sentir".

De acuerdo con varios especialistas argentinos, los fuertes temporales, granizadas y otros fenómenos meteorológicos que se están produciendo en algunas regiones de ese país, por encima de los valores históricos, son los primeros síntomas de que los cambios climáticos llegaron para quedarse.

Estrada Oyuela (2007), indicó que "algunos de los efectos pueden ser beneficiosos a corto plazo, pese a que en el largo término culminarán perjudicando el equilibrio ecológico. Un ejemplo de esto es la expansión de la frontera agrícola en la Pampa Húmeda, que favorece la siembra de soja, pero que perjudica a otros cultivos". Sobre la elevación del nivel de los océanos, como consecuencia del deshielo de los polos, **Estrada Oyuela (2007)**, aclaró oportunamente que "se estima que las aguas subirán 90 centímetros para fines del siglo XXI, lo cual no es una gran amenaza para la Argentina no obstante, señaló que en los próximos 20 años "se espera que haya sudestadas más fuertes, lo que pondrá en riesgo algunas zonas bajas, como el delta del Paraná". Advirtió que "en la zona de Tigre se están haciendo emprendimientos inmobiliarios que no toman en cuenta estos fenómenos".

Y sentenció que "El país también deberá afrontar la disminución del caudal de los afluentes del río de la Plata por la mayor evaporación. Esto disminuirá el potencial de generación eléctrica de las centrales ubicadas sobre los ríos Paraná y Uruguay. Asimismo, mermará el caudal de los ríos de montaña, con su consecuente impacto negativo para las poblaciones de las zonas que atraviesan". **Estrada Oyuela (2007)**.

1.6.- AFECTACIONES DE CAUDALES POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ECUADOR.

1.6.1.- El Proceso del Cambio Climático en Ecuador.

Los proyectos internacionales por la preocupación sobre el cambio climático, comienzan a concretarse con la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 y más tarde en la adopción en 1992 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), el Protocolo de Kyoto (1997) y el Acuerdo de Marrakech (2001). En el plano nacional, el denominado Proceso del Cambio Climático en Ecuador (PCCE) ha concentrado y coordinado las acciones que emergen de los requerimientos del país y de la adopción y ratificación tanto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático como del Protocolo de Kyoto.

1.6.2.- Los Nevados se Derriten.

Observaciones no necesariamente científicas revelan que los nevados durante los últimos 15 a 30 años y los mantos de las cumbres de muchas montañas andinas se están derritiendo. Es lo que los expertos llaman "retroceso de los glaciares", cuando su capacidad para acumular agua en estado sólido ocurre a un ritmo menor que el de deshielo.

Según el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, los caudales provenientes de los deshielos del Chimborazo disminuyen de forma alarmante. En 1978, en una toma del río Mocha, durante la hora pico de deshielo pasaba un caudal de 1 500 litros por segundo. Para el año 2006 esta cifra es de 400 a 460 litros por segundo. En otra vertiente de ese volcán, el río Chimborazo, la disminución entre 1986 y 2006 ha sido de 800 a 435 litros por segundo. La Cemento Chimborazo, empresa situada en las faldas de la montaña, usaba ese potencial para operar dos turbinas; en la actualidad una está fuera de operación por falta de agua. **Francou (2006).**

Según **Francou (2006)**, el caudal del río Pita, importante para el abastecimiento de Quito y sus alrededores, ha disminuido alrededor de un 30% entre 1964 y 2000. Dado que la cobertura vegetal de la cuenca, principalmente páramo, ha sido poco alterada, una de las explicaciones reside en el retroceso del glaciar del volcán Cotopaxi. Sin embargo, **Francou (2006)** advierte, "además de la disminución de glaciares, para evaluar la pérdida de caudales también es necesario pensar en la disminución de las lluvias observada hace decenios en la Sierra".

Agrega entonces que: "en cuencas con grandes glaciares, como la Cordillera Blanca del Perú, se observa un aumento de los caudales asociado con la pérdida de las reservas de hielo. Por lo tanto, la pérdida de glaciares no significa disminución de los caudales que vienen de esos glaciares; esto depende de la relación entre masa de hielo y la superficie de la cuenca hidrográfica". Entonces, se requiere investigar más, considerando diversas variables". **Francou (2006)**.

1.6.3.- Causas del Cambio Climático y Medidas de Mitigación.

El inventario de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) en el Ecuador, en un informe del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, destaca que:

"las emisiones de GEI se generaron principalmente en los sectores energéticos y cambio en el uso del suelo y silvicultura, y en menor escala, en los sectores agrícolas, de procesos industriales y de desechos.

Las diferentes actividades del país se reflejan también en el tipo y magnitud de las emisiones, donde sobresale el dióxido de carbono que abarca casi la totalidad de las emisiones, seguido por el monóxido de carbono y metano.

El dióxido de carbono CO₂ proviene principalmente de los sectores energético (28,8%) y cambio en el uso del suelo y silvicultura (69,5%), que sumados superan el 98% del total.

De manera similar que el CO₂, el CO es emitido principalmente por los sectores energético (50,90%) y cambio en el uso del suelo y silvicultura (43,88%), que juntos suman el 94,78% del total nacional.

Las emisiones de metano resultan de la actividad agrícola en aproximadamente un 70%, y el resto del cambio en el uso del suelo y silvicultura (10,94%), desperdicios (11,54%) y del sector energético (7,36%).

En el sector agrícola, casi el 97% de las emisiones de metano provienen de la fermentación entérica (69,9%) y del cultivo de arroz. Un análisis de mitigación en el sector energético mostró que la inclusión de medidas de mitigación induciría a que la tasa de incremento promedio de la demanda disminuya del 2,8% al 2,2% hasta el año 2005. Con las medidas de mitigación, la tasa de generación eléctrica descendería de un nivel promedio anual de 4,1% a 2,6%. Estas medidas permitirían reducir las emisiones de CO₂ en 18,5% en el lado de la demanda y en 47,1% en el lado de la oferta, al año 2025.



El análisis en el sector forestal destaca que de continuar con la evolución del sector sin cambios, la superficie boscosa disminuiría en 18,6% en el año 2010 y en un 37,1% en el año 2030; en tanto que las áreas naturales disminuirían en un 10,4% en el año 2010 y en un 20,7% en el año 2030". **INAMHI (2001)**.

1.6.4.- Impactos del Cambio Climático Sobre las Cuencas del Ecuador.

Las investigaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), sustentadas en aproximadamente 50 estaciones meteorológicas señalan un incremento sostenido de la temperatura media y valores extremos en magnitudes que, en varios puntos del país, oscilan alrededor de VC ver (Anexo 1).

Esta imagen guarda una relación directa con la tendencia global e inclusive parecería que supera los aumentos de temperatura a nivel mundial. Por su lado, la variación de la precipitación en el país es variable, con una leve tendencia a la disminución, especialmente en la región litoral.

Congruente con lo que sucede en los principales sistemas montañosos del mundo, las mediciones efectuadas en el glaciar 15 alpha del nevado Antisana, **según (INAMHI)**, indican una disminución paulatina de la longitud del glaciar entre los años de 1956 y 1998, y particularmente desde 1994 al 2006, ver (Anexo 2).

Por encima de los 4.555 metros sobre el nivel del mar, la cobertura sobre los glaciares ha disminuido del 70% al 54% durante el período comprendido entre los años 1956 y 1998. Una mirada actual al Chimborazo corrobora esta tendencia de disminución de los glaciales. Estas evidencias sostenidas deben llamarnos la atención para

comprender que el cambio climático ya está afectando al Ecuador.

En este sentido, según **Guarnan (2009)**, demuestra que ya desde 1999 se pudo confeccionar un mapa referente al calentamiento en la República del Ecuador, referente al período 1965 a 1999, el que refleja el aumento de la temperatura en la región.

Para los estudios de vulnerabilidad y adaptación se generaron cuatro Escenarios de Cambio Climático (ECC) que son:

- ECC1 (temperatura: +1,0 °C, precipitación: -15%).
- ECC2 (temperatura: +1,0 °C, precipitación: +20%).
- ECC3 (temperatura: +2,0 °C, precipitación: -15%).
- ECC4 (temperatura: +2,0 X, precipitación: +20%).

En el sector marino-costero, tomando como área piloto la Cuenca Baja del Río Guayas, los principales efectos podrían presentarse básicamente en los incrementos de los niveles de agua, frecuencia de excedencia y en la salinidad, en tanto que los impactos más sensibles estarían en las áreas perdidas por el levantamiento acelerado del mar y los efectos de las inundaciones y desbordes de ríos. El incremento del nivel medio del mar produciría inundaciones prácticamente en toda la línea de costa. La evaluación realizada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en 10 cuencas hidrográficas (50.791 km²) con un horizonte al 2010 destaca claramente los fuertes impactos que se producirían por el cambio climático. Por ejemplo, considerando los escenarios de cambio climático que implican disminución de precipitación, el Proyecto Hidroeléctrico Agoyán se vería afectado con una disminución de caudales del 23%, fundamentalmente en época de estiaje, y el Proyecto Paute cubriría apenas entre el 43 y el 45% de la potencia media, significando un déficit de alrededor del 27% respecto a la producción de energía eléctrica en condiciones normales.

1.6.5.- Oferta de los Recursos Hídricos en el Ecuador.

1.6.5.1.- Escenario Base.

Para la definición de este Escenario Base, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) sometió los datos hidrológicos y climatológicos a un proceso de crítica, homogeneización y regionalización.

Según la evaluación realizada en base a la información hidrometeorológica disponible; así como de otros informes, se validó para los caudales, su coherencia entre estaciones hidrológicas ubicadas aguas arriba y abajo, sin considerar el año excepcional (fenómeno El Niño 83) excesivo en precipitaciones y caudales por cuanto afectó en demasía los valores esperados en la calibración del modelo WATBAL. WATBAL es un modelo que, sobre la base del Balance Hídrico, determina los escurrimientos naturales superficiales. Este modelo ha sido utilizado como herramienta integrada para modelar la respuesta de las cuencas hidrográficas al cambio potencial del clima **Yates (1992)**.

El modelo WATBAL tiene esencialmente dos componentes. El primero es el Balance Hídrico que utiliza funciones continuas para describir el movimiento del agua dentro y

fuera de una cuenca conceptualizada. El segundo componente es el cálculo de la evapotranspiración potencial utilizando el método de la radiación de Priestly-Taylor. Con la ayuda del modelo WATBAL se obtuvo los caudales naturales superficiales, de donde se realiza los pronósticos a corto y largo plazo en la variación de los caudales. De los resultados obtenidos se puede mencionar que la mayor aportación en el año viene dada por las cuencas del Guayas y del Esmeraldas con el 78.5 %, siendo el 21.5 % la aportación del resto de cuencas del país.

1.6.5.2.- Escenario ECC1 (T +1°C, P -15%).

Para este escenario, la aportación total al nivel anual presenta una disminución del 21.7 % con relación al escenario base.

Las distribuciones tanto al nivel anual como mensual casi se conservan en forma similar a los porcentajes obtenidos en el escenario base, con los respectivos decrementos en sus aportaciones.

1.6.5.3.- Escenario ECC2 (T +1°C, P +20%).

En este escenario existe un incremento del 15.9 % con relación al escenario base. Comparando la distribución de aportación porcentual tanto al nivel anual como mensual con el escenario T+1°C y P-15 %, son semejantes.

1.6.5.4.- Escenario ECC3 (T +2°C, P-15%).

Al analizar este escenario puede notarse que si bien los porcentajes de distribución de aportaciones tanto al nivel anual como mensual permanecen similares al escenario T +1 y P-15 %, pero disminuye en el 2.8 %. El total de aportación al año disminuyó en 23.9 % con relación al escenario base.

1.6.5.5.- Escenario ECC4 (T +2°C, P +20%).

Al analizar este escenario con relación al base, existe un incremento anual del 14.3 %, siendo más aportantes las cuencas del Guayas y Esmeraldas en su orden con el 41.4 y 36.4%. Al igual que en el caso anterior se conservan los porcentajes de distribución tanto a nivel anual como mensual.

Como comprobación, para la mayoría de casos se realizó diagramas de confrontación de caudales naturales para cada subcuenca tanto en el escenario base como en los demás escenarios.



Al analizar el horizonte al año 2.010, este escenario es crítico por la disminución de la precipitación e incremento de temperatura.

Según información del **INAMHI (1998)**, frente al escenario base se puede observar que ante la presencia del Cambio Climático se tendría un incremento en el déficit y la agudización de los períodos de escorrentía, que son mayormente críticos en las cuencas de los ríos Esmeraldas, Pastaza (Proyecto Agoyán) y Ñapo (Proyecto Papallacta).

1.6.6.- Cuenca del Río Pastaza.

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (1998), "la zona de estudio de la Cuenca del Río Pastaza, en su parte alta se encuentra integrada por **las** subcuencas del Chambo y Patate, con un área total de 7983 Km² hasta el Proyecto Agoyán.

Por formar parte de la Región Interandina, el área en estudio tiene una topografía muy irregular, con pendientes de hasta el 70% en las estribaciones de las cordilleras en las que se encuentra la presencia de grandes edificios volcánicos como el Cotopaxi, Ilinizas, Chimborazo, Tungurahua y Carihuairazo. En la geología de la cuenca del Pastaza afloran una gama de formaciones que cubren todo el espectro cronológico desde el paleozoico hasta el pleistoceno.

En las vertientes de la Sierra, entre las cotas de 2000 y 3000 metros sobre el nivel del mar y en pendientes variadas, se desarrollan suelos a partir de materiales volcánicos, compuestos de ceniza dura cementada o cangahua que actualmente se encuentran extremadamente erosionados por el agua y el viento, formándose grandes grietas en la cangahua, donde hay muy poco suelo.

El clima de esta cuenca, es muy variable: gélido en las grandes alturas, frío en los páramos y nudos, templado y subtropical en las hoyas y plenamente tropical húmedo en las llanuras de niveles más bajos; por lo que se puede decir que se encuentra influenciado principalmente por perturbaciones tropicales de la Amazonia, la Zona de Convergencia lo que determina diferentes tipos de climas, en concordancia también con la orografía por la presencia de la Cordillera de los Andes.

Para el análisis climatológico a la Cuenca del Pastaza se divide en dos zonas: la primera denominada de Tipo Andino, que se extiende a lo largo de la Cordillera de los Andes con una altitud sobre el nivel del mar desde los 2.100 m. hasta las cumbres

andinas. La temperatura media de la zona fluctúa entre 10^DC y 20°C, la humedad relativa entre 70 y 88 %. El brillo solar fluctúa entre 1000 y 2000 horas sol al año. El período lluvioso para esta zona comienza en el mes de octubre y termina en el mes de mayo, con dos picos de altas precipitaciones, un máximo principal en los meses de marzo o abril y un máximo secundario en los meses de octubre o noviembre; es decir la distribución de la precipitación es bimodal.

La segunda zona, de tipo amazónico, se encuentra al Este de la primera y comprende las estribaciones de la Cordillera Central de los Andes y la Llanura Amazónica con una altitud inferior a los 2100 m.s.n.m. El clima de esta zona es típicamente húmedo y lluvioso, por lo que las lluvias se presentan durante todo el año casi en forma regular, con un ligero incremento en los meses de julio y agosto. Las precipitaciones anuales son abundantes, especialmente en el piedemonte Andino, en la alta Amazonia. El régimen hidrológico, al igual que el de precipitaciones, varía del tipo andino al de régimen oriental o amazónico a la salida de la cuenca, con caudales altos en los meses de febrero a mayo y de septiembre a noviembre y bajos entre junio a agosto, y altos de mayo a agosto respectivamente".

1.6.7.- Cuenca del Rio Puyo.

En la literatura científica revisada no se han reportado estudios hasta la fecha relacionado con la disminución del caudal del río Puyo por efectos del cambio climático, a pesar de la influencia que tiene la región como regulador del clima globalmente y en América del Sur en particular, teniendo en cuenta las reservas hídricas y forestales que aporta la Amazonia.

Sobre este tema, sólo se cuenta con los datos meteorológicos recopilados por una sola estación, existente en la vía Puyo-Macas perteneciente al (INAMHI), y de cuyo análisis **Llerena (2006)**, concluye, en un estudio a priori, de que las precipitaciones se mantienen estables pero ha aumentado la evaporación y la temperatura media de la región de la Amazonia Ecuatoriana.

<p*

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS



2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

"El comportamiento de los caudales de los ríos en la tierra, guarda relación directa con el ciclo del agua, y este a su vez, depende del comportamiento climatológico, el cual tiene manifestaciones diferentes, en cada zona geográfica del planeta". **Daniel (2008)**. Para el registro de las variables climatológicas, se utilizan diferentes equipos, aparatos y métodos con el fin de recolectar la información necesaria, la cual, posteriormente, debe ser procesada, con métodos matemáticos que permitan su análisis y comparación con otros datos, ya sea de estudios teóricos o de registros históricos con el fin de llegar a conclusiones sobre su comportamiento o el de los factores que determinan el clima en una región determinada.

En el presente capítulo se caracteriza la región de estudio y se presentan los datos recopilados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en Puyo, durante los últimos 35 años (1974-2009), así como también se explican los métodos utilizados para la recogida de la información y se describen las técnicas utilizadas para su procesamiento estadístico.

2.1.- Caracterización de la Provincia de Pastaza.

Capital:

Puyo.

Extensión:

29.068 km².

Limites:

Norte: Provincias de Ñapo y Orellana. **Sur:** Provincia de Morona Santiago. **Este:** República del Perú. **Oeste:** Provincia de Tungurahua.

Población:

68.655 habitantes con un 30% de la población indígena dividido en siete

nacionalidades: Shuar, Achuar, Shiwiar, Zapara, Huaorani, Kichwa y Andoa.

Clima:

Tropical Húmedo.

División Política:

Comprende cuatro cantones: Pastaza, Mera, Santa Clara y Arajuno; con 20 parroquias.

Ríos Principales:

Pastaza, Bobonaza, Cononaco, Curaray, Conambo, Tigre y Puyo.

Suelo:

El suelo es generalmente ácido, con textura arcillo-rocosa y bajo contenido de materia orgánica.

En los cauces, el suelo es generalmente ácido, contextura compacta, arcillosa-rocosa, con contenido medio de materia orgánica y microorganismos.

Flora:

Al referirnos a la flora en la provincia de Pastaza, según el **III censo agropecuario (2001)**, es necesario mencionar que existe una extraordinaria vegetación que además de variada, es abundante. El 80% de la superficie esta cubierta de bosque húmedo tropical, que puede considerarse como selva virgen, y el 15% de pastos cultivados, el 3% de cultivos permanentes, y el 2% son de otros usos.

La composición florística varía de acuerdo a las diferentes condiciones ecológicas que dependen fundamentalmente de la altitud y de humedad.

Los árboles que más destacan por la calidad de su madera son, y según su denominación más conocida: copal, doncel, tamburo, guayacán, caoba, pilche, intachi, canelo de varias clases, cedro, laurel, pigüe, balsa, zapote, motilón, caluncalún, chonta y chontacaspi.

Fauna:

En cuanto a la fauna, la selva constituye el habitat natural de numerosas y variadas especies de aves, mamíferos, insectos y reptiles.

2.2. - Caracterización del Río Puyo:

- El nacimiento del Río Puyo se ubica en la provincia de Pastaza, cantón Mera, parroquia Fátima, se ubica a 7 Km. aproximadamente, al noreste de la Ciudad de Puyo, accesible a través de la vía que conduce a la Ciudad de Tena, abarcando a las comunidades: Las Américas, El Rosal, Simón Bolívar, Murialdo, Libertad y Fátima.
- La cuenca del Río Puyo tiene una población de 35.000 habitantes, comprende la parte alta de su nacimiento con un recorrido de unos 35 Km, hasta su desembocadura en el Río Pastaza.
- El Río Puyo recorre comunidades como: Fátima, Las Américas, La ciudad de Puyo y 22 comunidades de la Comuna San Jacinto.
- El agua que abastece a la ciudad de Puyo depende del estado de las micro cuencas de los Río Puyo, Pindó y Pambay. La vegetación natural a orillas de los



ríos y arroyos es indispensable para garantizar la calidad y cantidad del agua. De los tres micros cuencas, la del río Pindó posee vegetación de bosques primarios, mientras que la micro cuenca del Río Puyo cuenta con vegetación de bosque primario y secundario; por otra parte la del Río Pambay se encuentra muy degradada.

2.3.- Aspectos Biofísicos de la Cuenca del Rio Puyo.

- El área geográfica de la cuenca del rio Puyo abarca una extensión de 700 ha, con un rango de altitud que va desde 960m.s.n.m. a los 1038m.s.n.m. Su topografía es irregular, predominando las pendientes en el 30% del área de la cuenca; los suelos son generalmente ácidos, con textura arcillo-rocosa y bajo contenido de materia orgánica.
- La precipitación promedio anual, oscila entre 4.516,6 mm y 5.130,2 mm. siendo los meses de mayor precipitación marzo, abril, mayo; correspondiente a la zona de vida Subtropical.
- La mayor parte de los tierras se usan para pastizales (50 %), cultivos de naranjilla, caña, Papa china etc. (20%) y vegetación natural primaria (30 %). La deforestación alcanza del 4 al 6 % anual en esta zona.
- En la parte alta de la micro cuenca del rio Puyo existen 2 captaciones de agua que constituyen las fuentes principales de provisión para la ciudad de Puyo y la parroquia Fátima.

2.4.- Estación Meteorológica del INAMHI en Puyo.

La estación cuenta con personal para realizar observaciones sinópticas (observadores de meteorología), que pueden recoger aquellos datos relativos a nubes (cantidad, altura, tipo), visibilidad en tiempo presente y pasado.

Este centro meteorológico de medición y recopilación de datos sobre las variables climáticas, se encuentra ubicado a 2 Km al este de la ciudad del Puyo en la vía (Puyo-Macas), a 960 msnm. En la latitud de 1° 30' 27" Sur, y longitud de 77° 56' 38" Oeste, y a unos 8Km del nacimiento del Río Puyo y no cuenta con una red de equipos de medición distribuidos en la cuenca objeto de estudio, realizando sus registros, sólo en el lugar donde está enclavada la estación, ver (Anexo 3).

2.5.- MATERIALES.

Los instrumentos implicados en la recopilación de los registros utilizados en este trabajo corresponden a la Estación Meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de Ecuador, ellos son instrumentos climatológicos tales como: Pluviómetro, Pluviógrafo, Tanque de Evaporación, Heliógrafo, Psicrómetro y el Abrigo Meteorológico (para la medición de temperaturas).

2.5.1.- Insolación (HELIÓGRAFO).

En la Estación meteorológica del INAMHI, en Puyo, la medición de la irradiación solar, se realiza con el heliógrafo Campbell-Stokes, un instrumento esférico de vidrio sólido pulido de 10 cm de diámetro, con un eje montado paralelo al de la tierra que mide la cantidad de horas del sol en un día (total en horas y décimos de horas) en un lugar determinado, ver (Anexo 4).

La esfera actúa como un lente y la imagen focalizada se mueve a lo largo de una banda de papel fotosensible que tiene una escala de tiempo graduada con intervalos de 0.5 minutos.

Este instrumento utiliza una banda larga y curva para el verano identificada con la inscripción de la estación climatológica; para el invierno las bandas o fajas también son curvas, pero más cortas que las de verano, identificadas como bandas de invierno; las bandas o fajas para los equinoccios son rectas. Cada una de estas fajas tiene una ubicación determinada en el heliógrafo según la estación del año que corresponda. La quemadura de la banda ocurre cuando la irradiación solar directa supera un límite variable de 120 a 210 W/m² (**WMO 1992**), que depende de la ubicación (turbidez atmosférica, altitud, humedad atmosférica), el clima, el tipo de banda de registro utilizada y los métodos de análisis, (**WMO 1981**).

La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 minutos. Si el sol luce durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el sol brilla de forma discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes.

Es necesario señalar que los cambios de faja se deben realizar a la 19h00 hora local, señalando la fecha, nombre de la estación y nombre del observador.

Este instrumento debe registrar permanentemente los períodos de insolación. Por lo tanto, para su instalación ideal deberá constar con un soporte sólido firme, y un sitio despejado de todo obstáculo susceptible de interceptar los rayos solares en cualquier momento del día o año.

2.5.2.- Precipitación (PLUVIÓMETRO y PLUVIÓGRAFO).

En la estación del INAMHI en Puyo se utilizan, para medir la precipitación diaria, como instrumentos el Pluviómetro clásico y el Pluviógrafo de tipo Hellman que posee una boca circular de 200 cm de superficie; de las mediciones efectuadas con ambos instrumentos se toma la media como valor de la precipitación en el lugar. La medida de la cantidad de precipitación obtenida del pluviómetro se obtiene en milímetros, mientras que el pluviógrafo registra en una banda de papel la gráfica de la precipitación que luego es transformada mediante análisis numérico a milímetros de precipitación, ver (Anexo 5).

Las unidades de la precipitación son medidas lineales, las cantidades de precipitación diarias deben expresarse en milímetros, y las lecturas deben hacerse en horas fijas (07h00-13h00-19h00, hora local), con una aproximación de 0.1mm. El pluviómetro esta instalado con su boca en forma horizontal sobre un terreno nivelado, y a una altura de 1,20 cm del suelo cuidando que el poste no sobresalga, por encima de dicho nivel para que no salpique o perturbe la lluvia cuando haya viento, está ha una distancia de cuatro veces su propia altura de los demás instrumentos.

2.5.2.1.- Medición de la Precipitación.

La medición de la precipitación con el pluviómetro se lo realiza con un vaciado del agua recolectada a una probeta de vidrio o plástico transparente, para su posterior lectura en la escala de la probeta; luego se desecha el agua, y se compara la medición del pluviómetro con la cantidad registrada en el pluviógrafo. La probeta debe tener un coeficiente de expansión térmica adecuada.

El pluviógrafo, es un equipo en el cual se debe poner en marcha el reloj del tambor giratorio al inicio de cada medición, al final de! día se suman las lecturas de cada etapa.

2.5.3.- Evaporación (TANQUE CLASE "A").

Para medir la evaporación en la estación meteorológica del INAMHI se utiliza el Tanque de Evaporación de Clase "A":

Este tanque está constituido por un cilindro de hierro galvanizado resistente a la corrosión; con un diámetro interior de 120,7 cm y 25,4cm de altura; reposa en una plataforma de listones de madera que está entre 10 y 15 cm de la superficie del suelo; en el borde del tanque se ubica un medidor micrométrico de gancho, que esta constituido por una escala móvil en su extremo y por un nonio, de tal forma que el gancho debe regularse para que toque exactamente la superficie del agua en el tanque, ver (Anexo 6). El medidor micrométrico se ubica dentro de un cilindro perforado de aproximadamente 10cm de diámetro y 30cm de altura, que está situado dentro del agua del tanque y registra las variaciones del nivel del agua producto de la evaporación en el tanque.

2.5.3.1.- Medida de la Evaporación.

La medición se realiza leyendo frente al índice de la escala vertical, graduada en milímetros, que aparece en el vastago, el número exacto en milímetros, y apreciando las décimas en la escala circular del tornillo micrométrico frente al índice que aparece en la platina exterior fijada al soporte.

La evaporación entre horas de observación se define como la diferencia entre la lectura anterior y la lectura actual. Si se hace la medición teniendo en cuenta que si durante dicho período hubo precipitación, ésta debe sumarse a la lectura que figurará como anterior.

La observación se realiza a las (07 hOO - 13 hOO- 19 hOO hora local). La cantidad de agua evaporada se mide en milímetros.

2.5.4.- Temperatura (TERMÓMETROS).

Los datos para la medición de la temperatura fueron recolectados por la estación meteorológica, que aplica el método basado en la construcción de un abrigo o garita meteorológica, que permite las mediciones correctas de la temperatura del aire a una altura de 2m sobre el nivel del suelo; este abrigo posee paredes de celosía para la adecuada ventilación natural que garantiza igual temperatura en el interior y en el exterior, esta garita rodea completamente los termómetros, protegiendo de la radiación y precipitación, ver (Anexo 7).



#

[DAD I:STATA]

2.5.4.1.- Medida de la Temperatura.

Para medir la temperatura del aire se ha instalado en la garita un Psicrómetro, formado por dos termómetros normales de mercurio. El primer termómetro se denomina seco y el otro que lleva el depósito de mercurio recubierto de muselina humedecida se denomina termómetro húmedo. La lectura debe realizarse con la mayor rapidez posible, para evitar el cambio de la temperatura.

De este modo se determinan las temperaturas extremas denominadas así por los valores más altos y los más bajos que tuvo la temperatura del aire en el período de 24h00.

La temperatura media se registra con lectura del termómetro seco, en tres horarios que comprenden: 7h00, 13h00 y 19h00, para su posterior promedio diario.

2.5.5.- Humedad Relativa (PSICRÓMETRO).

Para la determinación de la Humedad Relativa en la estación meteorológica en Puyo, se utiliza el método termodinámico por Psicrómetros, que es la diferencia de temperatura de los dos termómetros el seco y el húmedo para con ese valor, definir con la ayuda de la tabla psicrométrica el valor de la humedad relativa, ver (Anexo 8). Las observaciones se realizan en tres horarios: 07h00, 13h00 y finalmente 19h00.

2.6.- MÉTODOS.

En el presente trabajo la aplicación de métodos ha sido secuencial ya que comprende la búsqueda bibliográfica para el primer capítulo, recopilación de datos en la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), en Puyo, y la realización de los procedimientos estadísticos con software como el EXCEL, SPSS, STATGRAPHICS.

El tratamiento estadístico con los datos sobre las variables objeto de estudio en el periodo fijado que va desde 1974 hasta 2009 comienza con la conformación de gráficos y tablas a partir de dividir el período de 35 años objeto de estudio, en series de 10 años y de 7 años. Se calculan los promedios de las variables en esas series para cada una de las estaciones del año en el hemisferio sur terrestre.

2.6.1.- Tratamiento Estadístico con el Software Microsoft EXCEL 2007.

Este programa fue utilizado para el almacenaje de toda la información y confección de las tablas que permitieron exportar los datos a los distintos estadígrafos de trabajo, así

como confección de tablas resúmenes y presentación de datos en general, ver (Anexo 9).

2.6.2.- Tratamiento Estadístico con el Software STATGRAPHICS.

El STATGRAPHICS se usa para identificar si ¡a muestra de datos de que se dispone cumple con una distribución normal, este análisis se hizo para las series de 10 años, comprendidos en; década uno (1974-1983), década dos (1984-1993), década tres (1994-2003), y la cuarta década (2004-2009) enfatizando que la última década se considera de cinco años, por lo que se realiza el análisis en series de 7 años que comprenden; primer septenio (1974-1981), segundo septenio (1982-1988), tercer septenio (1989-1995), cuarto septenio (1996-2002), quinto septenio (2003-2009), para corroborar con el comportamiento de las gráficas, así como para los períodos de 35 años de cada estación climática, ver (Anexo 10).

2.6.3.- Tratamiento Estadístico con Software SPSS.

Con el software SPSS se elaboraron y se ordenaron los datos estadísticos de todas las variables en estudio los cuales son:

Precipitación, Evaporación, Insolación, Temperaturas, Humedad Relativa, ver (Anexo 11).

A partir de este dato se aplicó el análisis de correlación entre variables ver (Anexo 12), y la distribución normal de cada variable.

Se considera en el estudio los trimestres en estaciones del año para el hemisferio sur terrestre, con el Otoño enmarcado en los meses de Marzo, Abril, Mayo; el Invierno en Junio, Julio, Agosto; la Primavera en Septiembre, Octubre, Noviembre; y el Verano en Diciembre, Enero, Febrero.

CAPITULO III

DISCUCION DE RESULTADOS

3.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

El proceso de evaluación y análisis durante los últimos 35 años que se realizó, ha dado un importante resultado del comportamiento de las variables climatológicas en la cuenca del Río Puyo, provincia de Pastaza en la Amazonia Ecuatoriana. En este capítulo se realizará la interpretación de los resultados obtenidos en los distintos análisis correspondientes al comportamiento de las variables climáticas en el lugar de estudio y qué afectaciones directas aporta al caudal del río Puyo.

3.1.- Análisis del Comportamiento de las Variables Climáticas.

Los resultados obtenidos sobre el comportamiento de las variables climatológicas (Temperatura media, Precipitación, Evaporación, Insolación, y Humedad relativa) son las siguientes:

3.1.1- Temperatura Media de las Estaciones por Décadas.

Al comparar el comportamiento del parámetro Temperatura media por estaciones para períodos de 10 años, se observa que de una década a otra, su comportamiento no varía, manteniéndose los parámetros más bajos de temperatura durante la estación de invierno y los más altos durante el verano de lo cual se concluye que este parámetro no tiene corrimientos entre estaciones, ni las estaciones se corren dentro del año, ver (Gráfico 1).

Como es característico de las regiones ecuatoriales, en la región objeto de estudio, los valores de temperatura, durante la primavera, el otoño y el verano, tienen poca variación entre sí y solamente hay una diferencia, algo significativa durante el invierno influida por la altura del lugar.

Sin embargo, de una década a otra se observa un aumento significativo de la temperatura para cada estación.

De este modo, durante el período objeto de análisis, 1974 a 2009, divididos por períodos de 10 años, los registros de la estación meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), muestran que para los meses de Abril-Mayo-Junio, este parámetro aumentó 0.16°C como promedio de una década a otra y 0.5°C durante el período de 35 años analizados.

Para los meses de Junio-Julio-Agosto, el aumento promedio entre décadas fue de 0.26°C y un aumento total de 0.8°C , para los meses de Septiembre-Octubre-Noviembre, aumenta como promedio 0.2°C por década y un aumento total de 0.6°C

mientras que para los meses de Diciembre-Enero-Febrero el comportamiento de la temperatura media de la estación muestra un aumento de 0.16°C por décadas para acumular 0.5°C en los últimos 35 años, ver (Tabla 1).

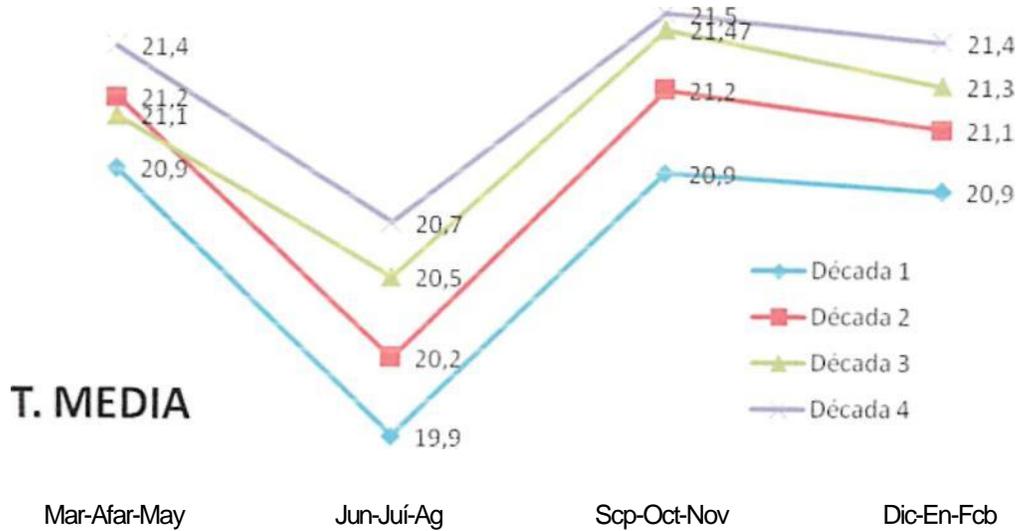


Gráfico 1. Comportamiento de la temperatura media de las estaciones por décadas. (Fuente propia).

	TEMPERATURA MEDIA			
	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4
Promedio Entre décadas	0.16	0,26	0.2	0.16
Diferencia del Promedio Total acumulado del periodo 74-09	0,5	0.8	0.6	0.5

Tabla 1. Crecimiento del promedio y diferencia total, entre décadas por estaciones. (Fuente propia).

Esto demuestra que la temperatura media para cada estación climatológica está aumentando en la región objeto de estudio, lo cual tiene implicaciones directas en el clima de la cuenca debido a que influye de manera determinante, en otros parámetros climatológicos.

Es significativo que la temperatura está aumentando más rápidamente durante la estación de invierno, con un incremento del 50% superior al crecimiento promedio de las demás estaciones, lo que origina la posibilidad de hacer desaparecer la escasa diferencia de temperatura que existe entre el invierno y las demás períodos estacionarios del año en la región objeto de estudio.

3.1.2.- Evaporación de las Estaciones por Décadas.

Los datos de la evaporación en la región, muestran un crecimiento según cada estación climatológica dentro de los períodos de 10 años analizados, y presenta un máximo en la curva anual de evaporación siempre en el trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre, mientras que la evaporación permanece con poco cambio, en una estación respecto a otra, como promedio en cada período de 10 años. Este comportamiento es el mismo en cada serie analizada de 10 años, sin embargo al comparar una década con otra, se observan crecimientos significativos de la evaporación de agua, así para el trimestre Marzo-Mayo aumenta 9.8 mm por década y acumula un aumento total de 29.6mm en los últimos 35 años, ver (Gráfico 2).

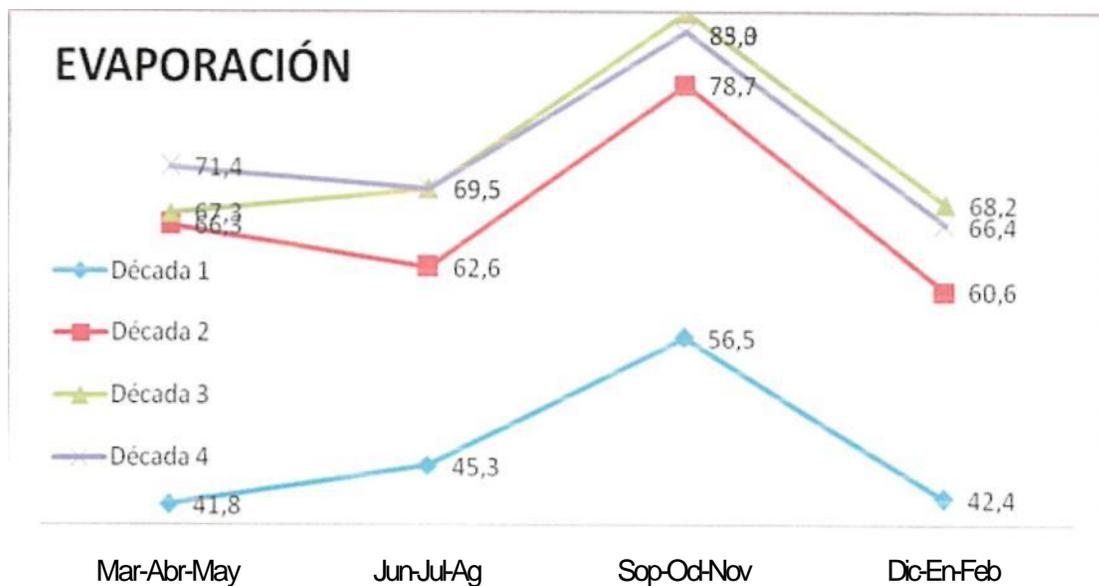


Gráfico 2. Comportamiento de la Evaporación de las estaciones por décadas. (Fuente propia).

El trimestre Junio-Agosto, aumenta como promedio 8.1 mm por década y acumula 24.2mm en total; el trimestre Septiembre-Noviembre aumenta como promedio 8.9mm por década y un aumento de 26.8 en total y el período Diciembre-Febrero aumenta por década 8.6mm para un aumento acumulado en 35 años de 25.8mm, ver (Tabla 2).

	EVAPORACIÓN			
	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4
Promedio Entre décadas	9.8	8.1	8.9	8.6
Diferencia del Promedio Total acumulado del período 1874-2009	29.6	24.2	26.8	25.8

Tabla 2. *Crecimiento del promedio y diferencia total, entre décadas por estaciones. (Fuente propia).*

En el incremento experimentado en los últimos 35 años, es significativo que el aumento en la evaporación al comparar el período comprendido entre los años 1974 al 1983 con el período 1984-1993 es mucho mayor que el aumento experimentado al comparar entre sí los períodos 1994-2003 y del 2004-2009, observándose que entre las últimas dos décadas el crecimiento es prácticamente nulo, de lo cual se concluye que el aumento de la evaporación no es regular y aparentemente está deteniéndose.

3.1.3.- Humedad Relativa de las Estaciones por Décadas.

Los registros de la humedad relativa en la región, muestran un comportamiento regular de este parámetro según cada estación climatológica dentro de los promedios correspondientes a los períodos de 10 años analizados, obteniéndose un mínimo en los valores de humedad relativa siempre en el trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre, mientras que en el resto de las estaciones, la humedad relativa permanece con poco cambio como promedio para cada estación en cada período de 10 años.

Este comportamiento es el mismo para cada período de 10 años, sin embargo al comparar una década con otra, se observa un comportamiento irregular por cuanto la evaporación promedio de cada estación experimentó un alto crecimiento entre la primera y segunda décadas analizadas, mientras que en los sucesivos períodos de 10 años posteriores a 1993 la tendencia fue a disminuir continuamente, manteniendo inalterable el comportamiento promedio de cada estación climática dentro de cada período de 10 años ver (Gráfico 3).

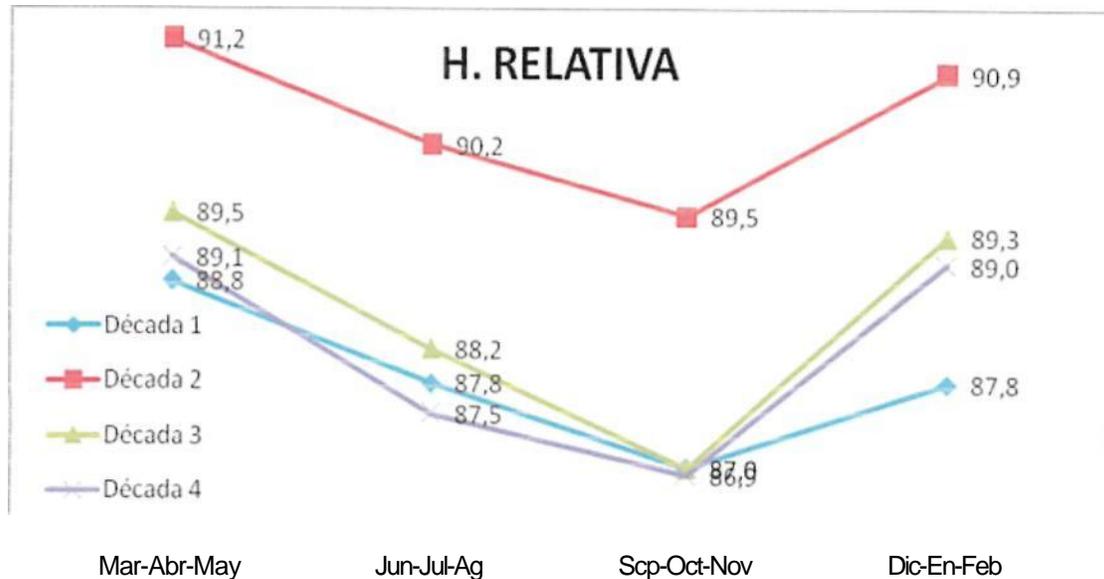


Gráfico 3. Comportamiento de la Humedad Relativa de las estaciones por décadas. (Fuente propia).

No obstante el incremento sostenido en los últimos 35 años, es significativo, debido a que el aumento en la humedad relativa al comparar el período comprendido entre los años 1974 al 1983 con el período 1984-1993 es mucho mayor que el aumento cuando se comparan entre si los períodos 1994-2003 y del 2004-2009, observándose que entre las últimas dos décadas el crecimiento es prácticamente nulo, de lo cual se concluye que el aumento de la humedad relativa no es regular.

3.1.4.- Insolación de las Estaciones por Décadas.

Como es característico de las regiones ecuatoriales, en la región objeto de estudio, los valores de insolación, durante el otoño y el verano, tienen poca diferencia entre si, mientras que entre las estaciones de invierno y primavera aparece una variación apreciable en los valores del parámetro en cuestión, apareciendo un máximo en el trimestre Septiembre-Octubre-Noviembre.

Sin embargo, de una década a otra se observa un comportamiento irregular de la humedad relativa para cada estación, presentándose valores alternos, en ocasiones de aumento y en ocasiones de disminución por estaciones entre las curvas correspondientes a cada década, ver (Gráfico 4).

Sólo se aprecia un crecimiento en la última curva, correspondiente a los años 2003-2009, correspondiendo esta a un período corto de tiempo que no completa el comportamiento de la década promedio.

La incertidumbre por el comportamiento atípico de este corto período, queda resuelta si se revisan las series en 7 años, entonces se observará el mismo comportamiento alterno para cada una de las series, incluidos los últimos 7 años, por lo que cabe esperar que en las series de 10, cuando se complete el último período, éste tendrá un comportamiento similar a las décadas anteriores, ver (Gráfico 5). Por lo tanto, la insolación es una variable que se comporta de manera regular presentando crecimientos y decrecimientos promedios no sostenidos cualquiera que sea la estación climática analizada y manteniendo como comportamiento significativo la existencia de un máximo de insolación en el trimestre Septiembre-October-Noviembre correspondiente al período de primavera.

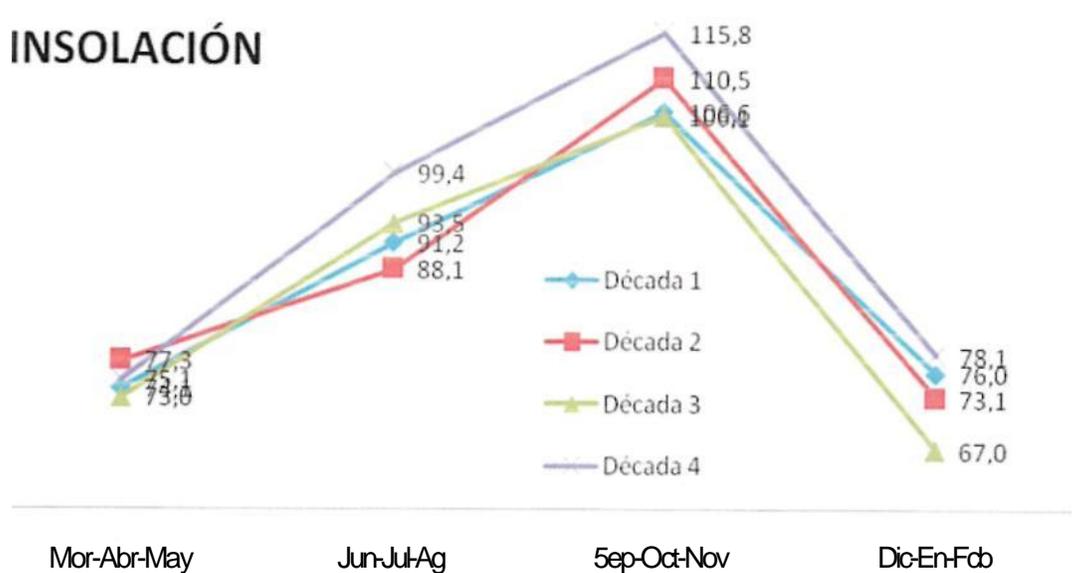


Gráfico 4. Comportamiento de la Insolación de las estaciones por décadas. (Fuente propia).

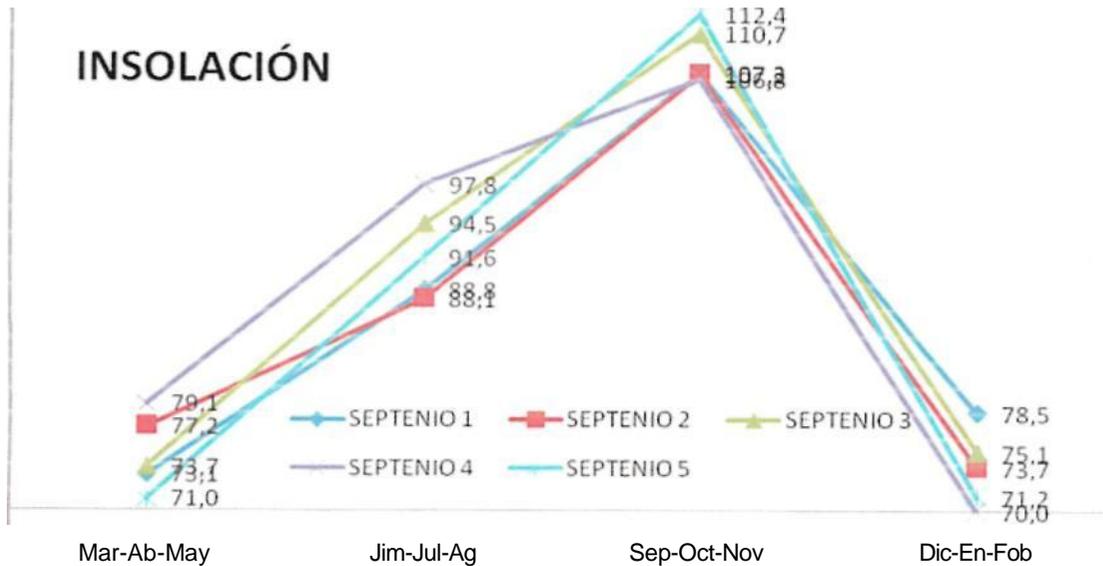


Gráfico 5. Comportamiento de la Insolación de las estaciones por septenios. (Fuente propia).

3.1.5.- Precipitación de las Estaciones por Décadas.

Los promedios de precipitación por décadas en la región objeto de estudio, muestran un comportamiento regular, manteniéndose la máxima precipitación en el período otoñal y la mínima en el verano. Sin embargo, el análisis de la precipitación, de una década a otra dentro del período estudiado, muestra un comportamiento caótico pues las curvas correspondientes a cada período de 10 años se cruzan de una estación a otra lo que indica que no hay crecimiento ni disminución estable de una década a otra ocurriendo que la década que muestra crecimiento en una estación, tiene decreciente en otra respecto de la década anterior o posterior en otra estación, ver (Gráfico 6).

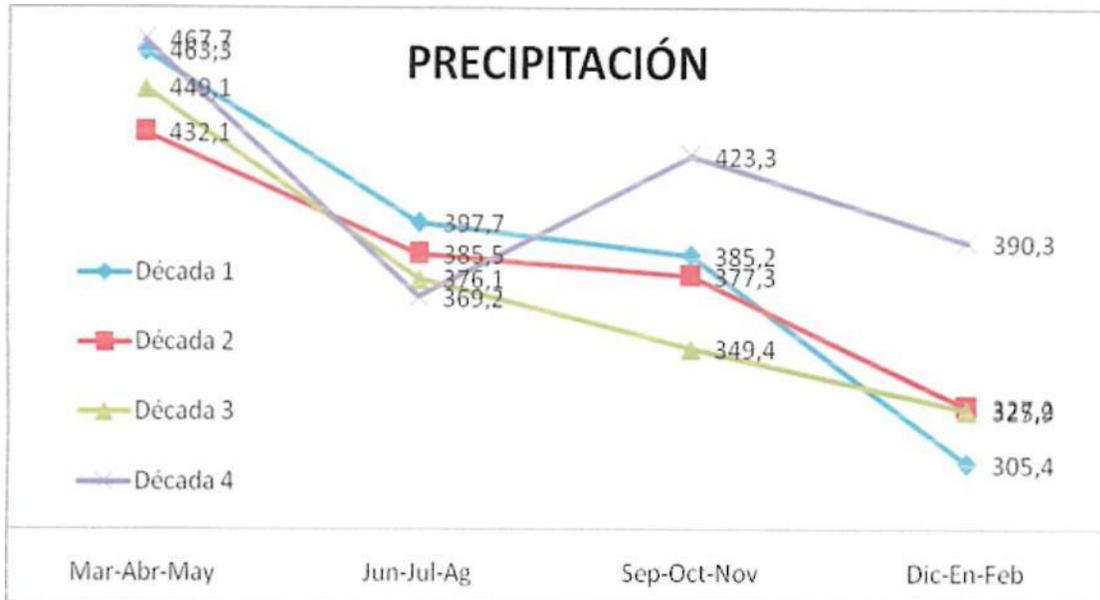


Gráfico 6. Comportamiento de la Precipitación de las estaciones por décadas. (Fuente propia).

3.2.- Correlaciones entre variables Climatológicas.

El análisis de la correlación entre variables se realiza por estaciones climáticas y parte de la relación entre la temperatura con las demás variables tratadas, sobre las cuales la primera, ejerce una influencia determinante.

El primer aspecto importante que se observa al relacionar las variables se encuentra en la relación del crecimiento de la temperatura promedio para la etapa invernal por décadas, con el comportamiento de la evaporación en la misma estación climatológica. El análisis estadístico de correlación entre los valores medios de estas dos variables muestra que el crecimiento de la temperatura tiene una alta significación respecto de la evaporación, por lo que se puede afirmar que existe correlación lineal en el crecimiento de ambos parámetros durante el invierno en la cuenca bajo estudio. Un comportamiento similar se obtiene en la correlación de la temperatura media de la atmósfera con el crecimiento de la insolación para la etapa invernal, ver (Tabla 3).



ESTADÍSTICA

		Precipitación	T. Media	Insolación	H. Relativa	Evaporación
T. Media	Correlación de Pearson	-.392	1	.628	-.560	.793
	Sig. (bilateral)	.514		.257	.326	.109
	N	5	5	5	5	5

Tabla 3. *Correlación entre Temperatura media y Evaporación en el invierno. (Fuente propia).*

Este es un comportamiento normal que se espera después de un aumento de la insolación.

Sin embargo, en la misma etapa, el crecimiento de la temperatura tiene una significación negativa respecto de su correlación con la humedad relativa, lo cual sugiere una anomalía para la etapa pues un incremento de la evaporación va acompañado de una disminución de la humedad relativa, ver (Tabla 3).

Una relación de este tipo, sugiere que el calentamiento atmosférico que está sufriendo la región objeto de estudio, en el invierno, contribuye a que el vapor de agua ascienda mucho, antes de encontrar capas frías que provoquen condensación, formando nubes altas que no dan precipitación y que el viento arrastra a grandes distancias.

En este sentido se observa una tendencia al decrecimiento continuo de la humedad relativa para todas las estaciones a partir de la década 1984-1993 y en particular su comportamiento en la etapa invernal tiene correlación lineal con el decrecimiento que experimenta la precipitación en la misma etapa. Ver (Gráficos 3 y 6).

Otra correlación significativa, se presenta al analizar el comportamiento de la insolación en la estación de primavera. En este período estacionario la curva de los valores promedios de la insolación por estaciones presenta un máximo, lo cual está en relación lineal con el comportamiento de la temperatura, la evaporación y la precipitación, ver (Gráficos 1, 2,4 y 6); y aunque está en correlación negativa respecto de la humedad relativa, esta es de baja significación, por lo que el ligero incremento de la lluvia en la etapa, puede estar relacionado con los mejores valores que tiene la evaporación durante la primavera con relación al invierno, ver (tabla 4).

		Precipitación	T. Media	Insolación	H. Relativa	Evaporación
Insolación	Correlación de Pearson	.233	.501	1	-.245	.491
	Sig. (bilateral)	.706	.390		.691	.401
	N	5	5	5	5	5

Tabla 4. *Correlación entre Temperatura media y Evaporación, (Fuente propia).*

Durante la etapa de verano, se produce un incremento de la humedad relativa acompañada de disminuciones de la evaporación, insolación, y la precipitación, respecto de la estación anterior, mientras que la temperatura media del verano sufre poco cambio respecto a la primavera, ver (Gráficos 2, 3, 4, 6).

En este sentido los datos de la estación meteorológica del INAMHI en Puyo, presentan una anomalía climática, por cuanto el único parámetro que crece de la primavera al verano es la humedad relativa.

Este hecho significativo, pudiera explicarse a partir de que una menor precipitación, proporciona menos humedad en el suelo, lo que contribuye a la disminución de la evaporación con menor insolación, mientras que los valores de evaporación existentes elevarían la humedad relativa debido a que la temperatura alta en la atmósfera sería causada por nubes, que provocan recalentamiento por efecto invernadero, y a su vez no dejan escapar el vapor de agua a las capas altas de la atmósfera, manteniéndose en estado de vapor, por efecto de la temperatura alta, lo cual explica la disminución de la lluvia a pesar de elevarse la humedad relativa.

En la etapa otoñal, se produce una aparente contradicción debido a que los valores de la temperatura media, evaporación, humedad relativa y la insolación se mantienen prácticamente constantes de una etapa estacionaria a la otra dentro de la misma década, mientras que se produce un aumento brusco de la precipitación, ver (Gráficos 1,2, 3, 4, y 6).

El hecho puede explicarse a partir de que en la estación otoñal, comienza el enfriamiento del hemisferio sur terrestre y por lo tanto de las regiones que están más al sur de la cuenca objeto de estudio, en consecuencia, los vientos que llegan desde la selva amazónica y regiones más al sur, son más fríos y al encontrarse con el vapor de agua de una zona más ecuatorial, y por tanto más caliente, hace que se formen precipitaciones abundantes en conjunción con la topografía del lugar situado en las estribaciones de la Cordillera Andina.

Del análisis efectuado tanto de las variables por separado, como de la correlación entre ellas, se puede concluir, que en la región existen condiciones para registrar efecto invernadero, dado por el crecimiento sostenido, del promedio de temperatura en cada estación climatológica, de la temperatura de una década a la otra en el período que va de 1974 a 2009.

Este efecto, presente en todo el globo terrestre con diferentes intensidades y comportamiento, está modificando el clima de la región estudiada, lo que se aprecia en el comportamiento irregular de variables de alta influencia en el clima y en la relación inusual de una variable con relación a otra, registrándose valores promedios de poca o ninguna relación lineal entre ellas, cuando debía ser lo contrario debido a la interdependencia física que existe entre parámetros climáticos altamente dependientes unos de otros como son la temperatura, la insolación, la humedad relativa, la precipitación y la evaporación.

El análisis de los resultados pone de manifiesto que el aumento que está sufriendo la temperatura, sobre todo en la media de las mínimas, seguida de aumentos sostenidos de la insolación y la evaporación, combinadas con una tendencia al decrecimiento en las precipitaciones, hacen suponer cualitativamente que el contenido de agua en el suelo debe estar disminuyendo por efecto de estos factores, lo cual corrobora la bibliografía internacional consultada.

En ese sentido, si el suelo disminuye su contenido de agua, cabe esperar que los flujos de agua, tanto subterráneos como superficiales, se verán afectados en tanto que la disminución de las precipitaciones tiende a romper el ciclo normal aportando menos agua a estos caudales.

Por otra parte, si el terreno tiende a secarse por un efecto de gradiente de concentración, los ríos perderán agua cediendo parte de su caudal a los terrenos aledaños más secos, a la vez que estos mismos ríos reciben menos agua por escorrentía ya que disminuyen las lluvias.

De la variabilidad obtenida en el análisis de los resultados, también cabe esperar afectaciones importantes a toda la biodiversidad de la cuenca objeto de estudio, lo cual, en combinación con otros factores que se presentan en el territorio, y no precisados en este trabajo, como la deforestación, el cambio de vegetación primaria por otras no propias de la región, la utilización de las aguas fluviales para uso de regadíos o consumo humano etc., provocan erosión en los suelos y desbalance en el



equilibrio de la humedad del suelo con la temperatura ambiental y otros parámetros como insolación, humedad relativa, precipitación y la evaporación.

4.- CONCLUSIONES GENERALES.

La bibliografía consultada y citada en el primer capítulo de este trabajo, tanto nacional como internacional, sobre el proceso de cambio climático que se experimenta a nivel del globo terráqueo y su vinculación con el comportamiento de las cuencas hidrográficas, a nivel mundial y local, ratifica dos aspectos importantes. El primero de estos aspectos, es el de vincular los parámetros climáticos fundamentales como temperatura, humedad relativa, evaporación, precipitación e insolación, con las variaciones en el contenido fluvial de las cuencas hidrográficas. En este sentido la bibliografía consultada patentiza, según los estudios realizados, que el cambio en las variables climáticas antes mencionadas, influyen decisivamente en el comportamiento del contenido de agua en las cuencas hidrográficas y particularmente en el cauce de los ríos en las zonas estudiadas.

El segundo aspecto importante es el de ofrecer métodos y técnicas de análisis que permiten, de forma indirecta, abordar el posible impacto que sufren las cuencas hidrográficas producto de la variación de los parámetros climáticos, a través del análisis de los factores físicos que vinculan el comportamiento climático, con el contenido de agua, en el suelo y en la atmósfera y el tratamiento estadístico de la información meteorológica recopilada.

Un tercer aspecto mucho más conocido, y no por ello menos importante, es abundar sobre el hecho demostrado ya, de que el planeta está enfrentado un cambio climático de forma no natural, determinado por la acción humana.

Un análisis más general de la bibliografía consultada, refleja la utilización de bibliografía bien actualizada, con otra menos actual, pero que entraña el valor de poseer los datos y registros, así como información acerca de la evolución del impacto que se viene provocando en la tierra producto de las variaciones forzadas del clima. El procesamiento de los registros de la estación local del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, a través de software estadísticos, permitió corroborar que los datos cumplían con una distribución normal, lo que permitió aplicar las técnicas de la estadística paramétrica y en este sentido poder determinar la relación existente entre la variación de un parámetro climático y otro, a fin de poder establecer qué tipo de influencia física o relación existe en el comportamiento de uno y otro en la cuenca del Río Puyo, de la Provincia de Pastaza, perteneciente a la Amazonia Ecuatoriana.

En tal sentido los gráficos del comportamiento de los parámetros climáticos organizados por series de 10 años y de 7 años corroboró el crecimiento de la temperatura media en cada una de las estaciones climáticas o periodos estacionarios anuales en la región objeto de estudio, así como un decrecimiento de la humedad relativa acompañado de un aumento en la evaporación que no se corresponden con el comportamiento de la insolación ni de la precipitación en la región, lo cual da señales inequívocas de que en la cuenca del Río Puyo existen razones para considerar que están existiendo alteraciones del clima que se corresponden con los reportes de la bibliografía consultada.

Un aspecto particular es el comportamiento de las precipitaciones las cuales, según los registros analizados, tiene un comportamiento anómalo que no se corresponde con las variaciones normales del clima en la región objeto de estudio, lo cual a su vez corrobora la afirmación anterior sobre variaciones no naturales del clima en la cuenca del Río Puyo.

El análisis de la correlación entre parámetros climáticos, demostró a través de técnicas estadísticas, que no hay una correspondencia natural entre los parámetros climáticos analizados y que por tanto sus variaciones se comportan acorde con variaciones del clima provocada por factores externos que no obedecen a las variaciones naturales del clima, encontrándose posibles explicaciones de su comportamiento en las alteraciones del clima producto del efecto invernadero y de otros factores, no precisados en este trabajo.

En tal sentido, cabe la conclusión, avalada por los reportes de otros estudios internacionales y nacionales, de que el clima en la cuenca del Río Puyo en la provincia de Pastaza, perteneciente a la Amazonia Ecuatoriana, está experimentando un cambio climático y que éste a su vez produce un impacto negativo en el caudal del río, lo cual aun no ha sido corroborado por falta de datos e información científica en la medición de este caudal, ni de otros factores que también pueden influir, por lo que debe acometerse su estudio en otro trabajo.

En este sentido, la investigación realizada resuelve el problema científico planteado de realizar un estudio que caracterice el cambio en los valores medios de las variables meteorológicas temperatura, precipitación, evaporación, insolación y humedad relativa y su posible influencia sobre el caudal del río Puyo, en la Amazonia Ecuatoriana, y de este modo se resuelve la contradicción planteada en la hipótesis para analizar cualitativamente el vínculo de las variables meteorológicas estudiadas, con el



comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas, para la cuenca del río Puyo y de esta forma caracterizar el impacto del cambio climático en el caudal de dicho río y así, cumplir el objetivo planteado.

5.- RECOMENDACIONES.

1. Profundizar en el estudio de las variables climatológicas que determinan el comportamiento de las aguas superficiales y subterráneas y en particular el caudal del Río Puyo, incluyendo otras variables determinantes como son los aspectos relacionados con los vientos, la temperatura del suelo y el subsuelo y otras que pudieran considerarse en un estudio posterior.
2. Establecer una red meteorológica para la recopilación de datos en toda la zona objeto de estudio que contemple la medición de todos los parámetros que influyen en el comportamiento de la red fluvial.
3. Organizar un proyecto de investigación que permita aforar el Río Puyo para obtener datos directos del comportamiento del caudal de éste.

6. - BIBLIOGRAFÍA

1. Steffen, W. (2002). *An overview of the implications of global change for natural and managed terrestrial ecosystems. Conservaron Ecology* [en línea]. PREAL. Enero 2004. [Consulta: 16 de Diciembre 2008].
Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=172>
2. Wang, X. (2007). *Cambio climático reduce humedales de Tbet y Caudal de grandes ríos Chinos*, [en línea]. PREAL. Julio 2007. [Consulta: 16 de Diciembre 2008].
Disponible en:
http://www.spanish.xinhuanet.com/spanish/200707/15/content_457891.htm
3. Li, S. (2007). *Cambio climático reduce humedales de Tbet y Caudal de grandes ríos Chinos*, [en línea]. PREAL. Julio 2007. [Consulta: 16 de Diciembre 2008]. Disponible en: http://www.spanish.xinhuanet.com/spanish/200707/15/content_457891.htm
4. Daniel, B. (2008). *El Cambio Climático Reducirá un 11% el Caudal del Guadiana y un 7% el del Tajo*, [en línea]. PREAL. Noviembre 2008. [Consulta: 16 de Diciembre 2008].
Disponible en:
<http://www.elperiodicoextremadura.com/noticias/noticia.asp?pkid=409304>
5. Juan, M. José, G. y Martin, B. (2007). *Efecto del Cambio Climático en la Cordillera del Pirineo*, [en línea]. [Consulta: 16 de Diciembre 2008]. Disponible en: http://www.heraldo.es/index.php/mod.noticias/mem.detalle/idnoticia.5751/relcatego_ha.300
6. Ernesto Brown (2007), *Análisis de los efectos de los Cambios Climáticos Globales sobre los Regímenes de Caudales en las Cuencas Andinas de Chile Central*. Santiago de Chile: Editorial.
7. Raúl, E. (2007), *El Cambio Climático Reducirá el Caudal de los Ríos Argentinos*. [en línea]. PREAL. Septiembre 2007. [Consulta: 16 de Diciembre 2008]. Disponible en: http://www.laaaceta.com.ar/vernotae.asp?id_seccion=8&id_nota=236859
8. Bernard, F. (2006). *El Proceso del Cambio Climático en Ecuador: Los nevados se Derriten* [en línea]. [Consulta: 16 de Diciembre 2008], Disponible en: http://www.terraecuador.net/revista_45/45_deshielo.html



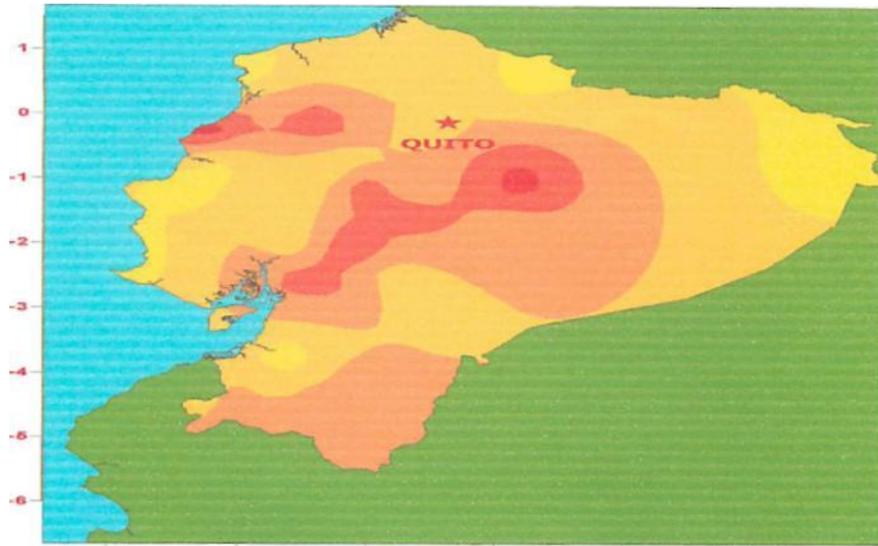
DAD HSTATAI

9. INAMHI, (2001). *Prioridades sobre Cambio Climático en Ecuador*, impactos del Cambio Climático. Quito: Edición INAMHI. 16p.
10. Yates, D. (1992), *Watbal - An Integrated Water Balance for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff U.S. Country Studies Program*, Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments, Laxenburg: Edición INAMHI. 77p.
11. INAMHI, (2001;). *Plan de trabajo del proyecto ECU/99/G31 Cambio Climático*, Fase II. Quito: Edición INAMHI. 16p.
12. INAMHI, (1998). *Evaluación de la vulnerabilidad del recurso hídrico ante un eventual Cambio Climático*. Golfo de Guayaquil. Edición INAMHI. 77p.
13. WMO, (1995): *Radiative Forcing of Climate Change, Summary for Policy Makers*, OMM, UNEP, 28 pp.
14. INECEL, (2000). *Evaluación Energética de los Ríos Chambo, Patate, Pastaza, y Mira*. Quito - Ecuador.
15. Jhomson, G. (1995): *Stochastic Weather Simulation: Overview and Analysis of Two Commonly Used Models*, Journal of applied Meteorology, 35: 1878-1895.
16. Luis, C, Michael, J., (1994): *Redes Neuronales y Patrones de Analogía Aplicados al Downscaling en Modelos Climáticos*, Instituto Nacional de Meteorología, España, 113-121.
17. Hense E, et al. (1996): *The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project*. Bull. Amer. Meteor. Soc, 77:437-471.
18. Walther, B. 2002. *An overview of the implications of global change for natural and managed terrestrial ecosystems*. *Conservation Ecology* 1: 2. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss2/art2>.
19. Franklin, G. (2009): *Cambio Climático Causas y Consecuencias*, Dirección Provincial de Pastaza Ministerio del Ambiente. Puyo, Pastaza Ecuador Editorial.
20. Gerardo, LL. (2006): *Cambio Climático y Futuro Impacto en la Amazonia*. *Cambio Climático*. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza Ecuador.
21. CESA, (2001): */// Censo Agropecuario, Distribución de Cultivos en Pastaza*. Puyo, Pastaza Ecuador.
22. WMO, (1981-1992): *Atlas de Energía solar del Perú*. Proyecto Electrificación Rural a Base de Energía Fotovoltaica en el Perú /98/g31.

ANEXOS:

Anexo 1

REPÚBLICA DEL ECUADOR
MAPA DE CALENTAMIENTO
PERÍODO : 1965 - 1999



LONGITUD

Calentamiento de la Temperatura en Ecuador, Período 1965-1999. (Fuente INAMHI).

Anexo 2



Proceso de derretimiento del Antisana en Ecuador, período 1994-2006



>NICA

^ _____ Anexo 3

SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA
INSTITUTO NACIONAL DE
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
**ESTACIÓN METEOROLÓGICA
PUYO**

LATITUD 01°
30'27" S

LONGITUD
77°56'38"W

ALTURA
0960 MSNIft

Ubicación de la Estación
Meteorológico INAMHI en Puyo. (*Fuente propia*).

Anexo 4

Anexo 5

Anexo 6

Heliógrafo.



Pluviómetro.



+ Sa



i^*

Pluviógrafo.

I

Anexo 7



Tanque de Evaporación Clase "A" Tipo Hellman.

Anexo 7



JIMIil



Garita (Abrigo meteorológico).

Psicrómetro.



Anexo 9

HH	T° Media	T° Máxima	T° Mínima	ASU	Humedad Relativa	Precipitación mm	Evaporación	Insolación hora	Me*	Día*	Precipitación mm	Evaporación mm	Inmoliación hora*
Enero											1	1	1
Abril											1	1	1
Junio											1	1	1
Julio											1	1	1
Agosto											1	1	1
Septiembre											1	1	1
Octubre											1	1	1
Noviembre											1	1	1
Diciembre											1	1	1
Total											1	1	1

Recopilación de datos; estación meteorológica (INAMHI)-Puyo. (Fuente propia).

Anexo 10

5 STATGRAPHICS Plus - Durbuclon MOBMyal-seP' [Análisis Unldmonslonsl
 [-H Edison Grafitos Decncpcifin ComptaaoOn 0*15*^0)*^0* AvwnsBdo
 SnapSU

rnr

IBil ^L^J_*]35JMLBaLi!
] Elia.: j

Resumen [Estadístico para InsoIT3

Frecuencia = "IOS Media = IOS.88 Varianza = 372.199 Desviación típica = 19.2925
 Mínimo = -43.5 Máximo = 147.1 Rango = 103.6
 Asimetría tipi. = -1.231 91 Curtosis tipificada = 0.823]

InsoITil

I T Fita: j

E) StatAdvisor

Esta taota muestra el resumen estadístico para InsoIT3. Incluye las medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, y medidas de forma. De particular interés están los coeficientes de asimetría y curtosis estandarizados que pueden utilizarse para determinar si la muestra procede de una distribución normal. Los valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican alejamiento significativo de normalidad que tendería a invalidar cualquier test estadístico con respecto a la desviación normal. En este caso, el valor del coeficiente de asimetría estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal. El valor del coeficiente de curtosis estandarizado está dentro del rango esperado para los datos de una distribución normal.

Gráfico análisis de la distribución normal de la Insolación en STATGRAPHIC. (Fuente propia).