

Variabilité climatique dans la sierra équatorienne en relation avec le phénomène ENSO

MARCOS VILLACIS, JEAN-DENIS TAUPIN

Institut de Recherche pour le Développement, Whymper 442 y Coruña, Quito, Ecuador
marcosvillacis@yahoo.com

EDISON HEREDIA, ENRIQUE PALACIOS & JUAN PALACIOS

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Iñaquito 700 y Corea, Quito, Ecuador

Resumé En année normale, l'Equateur par ses conditions géographiques particulières (courants marins, relief irrégulier, ...) montre une grande variabilité climatique (moins de 100 mm à 6000 mm pour la pluie annuelle), comparativement à une surface relativement réduite (275 000 km², moitié de la France), à laquelle peut se rajouter une variabilité liée à un contexte climatologique particulier, au moment des événements ENSO. L'objectif principal de cette étude préliminaire est d'analyser, au niveau de la Sierra, les altérations climatiques dues à l'ENSO, à l'échelle saisonnière, afin de comprendre quels sont les paramètres météorologiques qui vont contrôler cette variabilité. Et ceci, à travers l'étude de la pluie, de la température et de l'humidité relative sur les trente dernières années, sur une vingtaine de stations de la Sierra. Les résultats montrent que, contrairement à la zone côtière où la précipitation augmente durant la présence du Niño sur la côte équatorienne, la Sierra ne montre pas une réponse uniforme. Durant la période humide (octobre à mai), on ne constate pas une plus grande variabilité positive ou négative, alors que durant les mois secs (juin à août), on observe systématiquement une baisse significative des précipitations par rapport à la moyenne.

Mots clefs ENSO; précipitation; Sierra équatorienne; variabilité climatique

Key words ENSO; precipitation; equatorial Sierra; climate variability

INTRODUCTION

Les effets de l'ENSO, sur le climat de la Sierra équatorienne, ont déjà été mis en évidence à travers la réponse enregistrée dans l'analyse du bilan de masse du Glacier 15 du volcan Antizana (80 km à l'est de Quito-Equateur), où a été mis en évidence une perte importante en volume et un recul net de la langue glaciaire durant El Niño et une certaine récupération au moment d'épisode fort de La Niña. Ceci a montré que la variabilité du bilan de masse est contrôlé par les effets climatologiques produits durant les événements ENSO avec de plus, une absence significative de déphasage entre l'arrivée du El Niño sur la côte et sa réponse sur la cordillère équatorienne (Francou *et al.*, 2000). De même, Vuille *et al.* (2000), ont montré que l'influence des événements ENSO sur les précipitations dans les Andes équatoriennes est particulièrement bien corrélée dans la partie nord-ouest des Andes, au mois de décembre, janvier et février et dans la partie est durant les mois de juin, juillet et août. Associé à des valeurs inférieures à la moyenne durant les événements El Niño et avec des valeurs supérieures à la moyenne durant les événements La Niña. Dans un contexte plus régional,

Henderson *et al.* (1999) ont lié les conditions environnementales en Amazonie et sur l'Atlantique tropical avec la série de $\delta^{18}\text{O}$ obtenue sur la carotte de glace du Huascarán (Pérou). Il apparaît que lors des événements El Niño on note un enrichissement du $\delta^{18}\text{O}$ dans la carotte de glace au même moment que le maximum d'intensité de El Niño et on note aussi un appauvrissement approximativement 12 mois après, quand El Niño a perdu sa force. Ces premières études ont montré la nécessité de mieux connaître le climat sur la Sierra pour appréhender de meilleure façon les relations avec l'ENSO.

Cette étude se propose de décrire cette variabilité de la précipitation liée à l'ENSO, au moment de la saison sèche, époque où l'influence de l'ENSO semble avoir une plus grande intensité (bien mis en évidence durant les 20 dernières années), mais aussi de décrire cette variabilité à partir d'autres paramètres comme l'humidité relative et la température.

Données

La faible disponibilité de l'information météorologique sur la zone d'étude, a compliqué l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle, du moins si l'on ne prend en compte que les stations météorologiques fiables, établies par des études antérieures d'homogénéisation et de régionalisation réalisées par l'INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), l'Institut Français d'Etudes Andines (IFEA) et l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement).

L'information utilisée a été la suivante:

- (a) Données mensuelles de pluie sur 20 stations (source INAMHI) situées sur l'ensemble de la Sierra équatorienne (Fig. 1), sur une période comprise 1965–1998.
- (b) Données mensuelles de température maximale sur six stations (période 1982–2000), équitablement distribuées du nord au sud des Andes équatoriennes.
- (c) Données mensuelles d'humidité relative sur cinq stations (période commune 1982 à 2000).

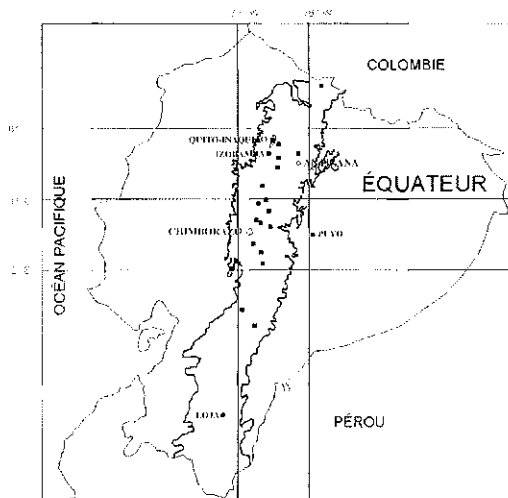


Fig. 1 Carte de localisation des stations météorologiques utilisées dans cette étude.

- (d) Comme indice des événements ENSO, on a utilisé la température superficielle de la mer (TSM) pour les blocs Niño 3.4 (5°N–5°S, 120°–170°W), 3 (5°N–5°S, 90°–150°W) et 1+2 (0°N–10°S, 80°W–90°W). Pour caractériser les événements ENSO on utilise la définition proposée par Trenberth (1997), selon laquelle un événement El Niño (La Niña) s'est produit si la moyenne mobile mensuelle sur 5 mois des Anomalies de Température de Surface de la Mer (ASTM) pour la région Niño 3.4 dépasse les +0.4°C (–0.4°C) durant au moins 6 mois consécutifs. On peut utiliser la même définition avec le bloc Niño 3, mais avec une valeur de +0.5°C (–0.5°C) pour El Niño (La Niña). Cette définition permet ainsi d'identifier le début, la fin, la durée et de quantifier l'intensité de chaque événement.

METHODOLOGIE

On a analysé la variabilité climatique à l'échelle de la saison, en fonction des caractéristiques du régime de précipitation de type équatorial, prépondérant dans la Sierra. On a ainsi divisé l'année en trimestre de la manière suivante: mars, avril et mai (MAM), septembre, octobre et novembre (SON) premier et second pic de précipitations en importance d'une part et, juin, juillet et août (JJA), décembre, janvier et février (DJF) première et seconde périodes sèches en importance, d'autre part. Ce régime bimodal est déterminé principalement par les deux passages annuels de la Zone de Convergence Inter Tropical (ZITC) sur la Sierra équatorienne. Pour limiter la variabilité mensuelle sur chaque trimestre d'une année sur l'autre, on a préféré travailler sur la totalité de la pluie trimestrielle (somme) et sur la moyenne trimestrielle pour l'humidité relative et les températures.

L'analyse des données a comporté deux parties: la première est descriptive à travers l'Analyse en Composantes Principales (ACP), c'est une technique analytique simple, qui permet d'expliquer, dans notre cas le comportement moyen d'un groupe de stations au cours du temps, en pondérant les influences de chacune et optimisant le résultat à travers la composante principale qui représente la variance maximale (Peixoto & Oort, 1992). Et une seconde partie statistique classique, en regardant les relations possibles (coefficients de corrélation) entre la variabilité des paramètres météorologiques et l'indice l'ENSO avec un intervalle de confiance de 95%.

ANALYSES

Précipitation

On dispose donc de 20 stations relativement bien réparties de la partie centrale au nord de la Sierra, sur une période de 33 années (1965–1998).

Au début, on avait pensé utiliser comme indicateur des événements ENSO, principalement la TSM du bloc Niño 1+2 et Niño 3 dû à leur proximité avec la zone d'étude, mais les résultats ont montré de meilleures corrélations entre la Composante Principale (CP) et le bloc Niño 3.4 pour les trimestres DJF, JJA et SON (Tableau 1). La corrélation entre la CP du MAM et le bloc 1+2 et 3 a donné une valeur significative statistiquement dans l'intervalle de confiance (95%), c'est-à-dire qu'on note une

Tableau 1 Variance retenue par les Composantes Principales de précipitation. Coefficients de corrélation entre les CP trimestrielles et les anomalies de TSM pour les différents blocs Niño sur la période 1965–1998. Les corrélations significatives dans l’intervalle de confiance 95% sont en gras.

Trimestre	CPI DEF	CPI MAM	CPI JJA	CPI SON
Variance retenue (%)	46.56	36.25	43.37	37.00
CPI* vs ATSM1+2	0.01	0.39	-0.40	-0.27
CPI* vs ATSM3	-0.03	0.43	-0.55	-0.35
CPI* vs ATSM3.4	-0.13	0.33	-0.62	-0.38

relation avec les précipitations andines, sur les blocs les plus proches du continent, seulement durant MAM, mais même dans ce cas, du moins pour le bloc 1+2, on n’arrive pas à discriminer les événements El Niño des événements La Niña.

Il reste de cette analyse que l’on obtient la meilleure relation CP et ENSO avec les précipitations andines, durant le trimestre JJA avec le bloc Niño 3.4 (Tableau 1). De plus, en analysant la série temporelle de la Composante Principale de JJA, on montre que, (Fig. 2) respectivement on obtient des valeurs négatives (positives) pour la majorité des événements El Niño (La Niña), ceci est à mettre en relation, selon Vuille *et al.* (2000) avec la diminution (augmentation) de l’activité convective durant El Niño (La Niña) qui affecte le nord du Brésil jusqu’au pied des Andes équatoriennes. Ce résultat est bien confirmé en analysant les coefficients de corrélation (Tableau 2)

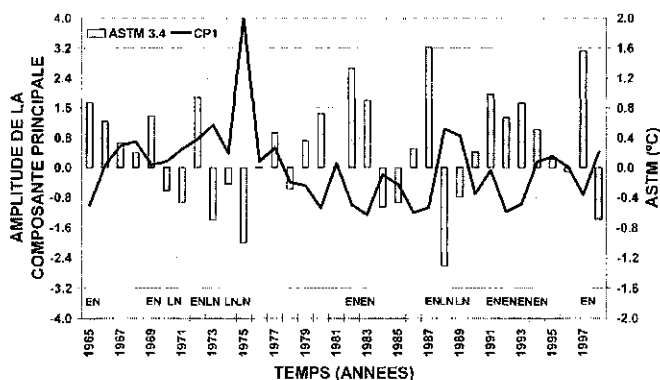


Fig. 2 Evolution temporelle de CPI pour les mois JJA en fonction des Anomalies de la Température Superficielle de la Mer (TSM) pour le Bloc Niño 3.4. (On peut observer des valeurs négatives/positives durant la majorité des événements El Niño/La Niña).

Tableau 2 Coefficients de corrélation entre la précipitation trimestrielle à chaque station et les anomalies de TSM pour le bloc Niño 3.4, et 3. Les corrélations significatives dans l’intervalle de confiance sont marquées en gras.

Stations	103	114	003	188	353	364	365	004	369	127	376	377	380	393	133	395	130	031	138	033	008
JJA vs 3.4	0.34	-0.41	-0.46	-0.07	-0.16	-0.44	-0.39	-0.46	-0.37	-0.52	-0.56	-0.39	-0.21	-0.44	-0.60	-0.37	-0.05	-0.57	-0.37	-0.28	-0.26
SON vs 3.4	-0.09	-0.27	-0.25	-0.11	-0.31	-0.31	-0.20	-0.18	-0.31	-0.31	-0.35	-0.08	-0.36	-0.27	-0.08	-0.27	-0.30	-0.13	0.42	0.14	-0.06
DJF vs 3.4	-0.28	-0.39	-0.27	-0.17	-0.46	-0.40	-0.25	-0.24	-0.21	-0.19	-0.06	-0.04	-0.00	-0.06	-0.00	0.09	0.35	-0.18	-0.08	-0.10	-0.08
MAM vs 3	0.13	-0.04	0.27	0.03	0.05	0.13	0.22	0.15	0.19	-0.12	0.32	0.45	-0.13	0.45	0.55	0.32	0.28	0.46	0.11	0.13	0.20

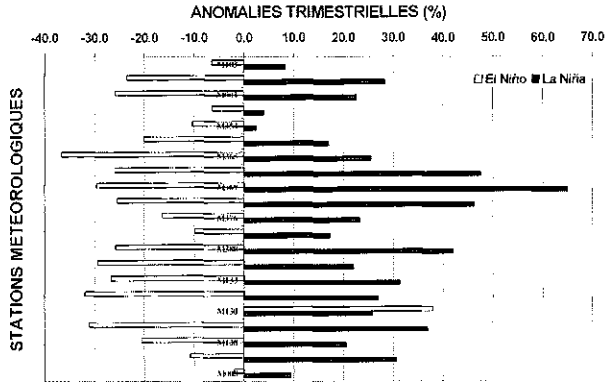


Fig. 3 Anomalies de précipitation trimestrielle, du nord au sud de la Sierra, par rapport à la moyenne trimestrielle multiannuelle en pourcentage pour le trimestre de juin, juillet et août. Toutes les stations (sauf M130) montrent des anomalies négatives/positives durant les événements El Niño/La Niña par rapport à la moyenne trimestrielle multi annuelle.

obtenus directement entre la précipitation trimestrielle (JJA) à chaque station et les ASTM dans les différents blocs. Pour les autres trimestres, les résultats semblent moins clairs (Tableau 2)

De plus pour le bloc 3.4, durant le trimestre JJA on peut observer (Fig. 3) des anomalies de précipitations par rapport à la moyenne, respectivement négatives (positives) durant les événements, El Niño (La Niña).

Si l'on considère, a priori, qu'à partir de 1979 le cycle de l'ENSO s'est renforcé, et particulièrement les périodes de réchauffement, donc l'occurrence des événements El Niño (Trenberth, 1997), on peut supposer qu'il y aura aussi une conséquence sur les quantités de précipitations avec une augmentation significative du coefficient de corrélation. Ceci est effectivement bien établie (Tableau 2), et cela spécialement pour la principale période sèche, JJA ($r = -0.72$, période 1979–1998).

Humidité relative

Les données disponibles sont plus éparées que pour les précipitations, on ne dispose que de 18 années de mesures, pour tenter de corroborer les résultats obtenus avec la précipitation pendant la période sèche (JJA).

Durant la période 1982–2000, l'humidité relative et les indices ENSO ne montre pas de relation positive en fonction des résultats des coefficients de corrélation, mais en observant le comportement temporel de l'humidité relative, on peut observer un certain parallélisme avec les ATSM à partir de 1988, on a donc travaillé sur cette période (1988–2000) pour chaque station augmentant fortement les coefficients de corrélation et pour Iñaquito (M024) et Izobamba (M003) le coefficient de corrélation devient statistiquement significatif (Tableau 3).

Durant la saison sèche (JJA), la vallée andine est en partie alimentée en vapeur venant de l'Amazonie. Pendant cette période, la station de Puyo (M008), située en Amazonie au bas du versant oriental andin, montre aussi une relation claire avec les

Tableau 3 Coefficients de corrélation entre la moyenne trimestrielle de l'humidité relative pendant les mois de Juin, Juillet et Août et les Anomalies de Température Superficielle de la Mer (ATSM) pour le Bloc Niño 3.4. Les corrélations significatives dans l'intervalle de confiance sont marquées en gras.

Stations	103	024	003	004	127	133	138	031	008	033
Hr vs ATSM3.4 (82-00)	0.10	-0.20	-0.40	0.00	-0.21	-0.24	0.26	-0.27	-0.37	-0.22
Hr vs ATSM3.4 (88-00)	-0.45	-0.64	-0.61	-0.18	-0.06	-0.41	-0.24	-0.37	-0.53	-0.40

Tableau 4 Coefficients de corrélation entre la moyenne trimestrielle des Tmax et Tmin en fonction des Anomalies de Température Superficielle de la Mer (ATSM) pour le Bloc Niño 3.4. Les corrélations significatives dans l'intervalle de confiance sont marquées en gras.

Stations	103	024	003	004	138	033
Tmax vs ATSM3.4 (82-00)	-0.33	0.23	0.63	0.33	-0.16	-0.24
Tmin vs ATSM3.4 (76-00)	0.36	0.36	0.06	0.08	—	0.43

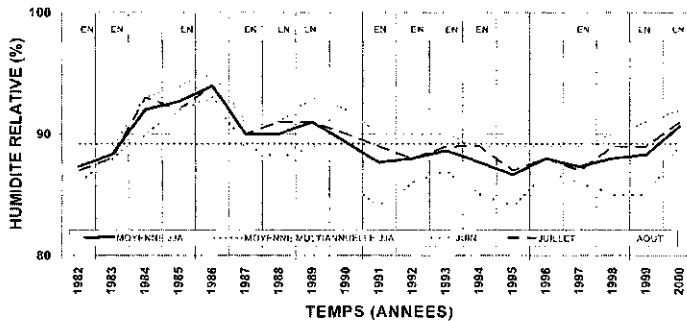


Fig. 4 Comportement temporel de l'humidité relative à la station de Puyo au cours des mois de Juin, Juillet et Août.

indices ENSO, marquée par une baisse significative de l'humidité relative en période El Niño et une augmentation en La Niña. (Tableau 3, Fig. 4).

Température maximale et minimale

Les températures extrêmes ne montrent pas de corrélation significative avec les événements ENSO, mais ces résultats ne peuvent pas être considérés comme définitif car les données disponibles ne sont pas assez significatives. De plus la réponse est très variable selon les stations, significative pour la station de Izobamba (M003) qui montre une corrélation positive avec les ATSM pour la Tmax et significative aussi pour la stations de Loja-La Argelia (M033) qui montre une corrélation positive avec les ATSM mais dans ce cas avec la Tmin (Tableau 4).

CONCLUSIONS

Contrairement à ce que l'on aurait pu penser, les relations entre l'ENSO et les stations de la vallée andine sont plus significatives avec les ASTM du bloc 3.4 durant la plus grande partie de l'année.

Il est intéressant de mentionner que durant JJA, on observe des valeurs moyennes négatives (positives) sur la précipitation au moment des événements El Niño (La Niña), corrélation qui se présente comme modérée mais persistante, spécialement à partir de 1979, coïncidant avec l'augmentation de la fréquence des occurrences des événements El Niño. Il est aussi important de souligner que pendant cette époque de l'année une partie de l'humidité présente sur la Sierra provient de l'Amazonie, période qui correspond au maximum pluvial sur le versant oriental (amazonien) de la cordillère des Andes, situation qui se voit affectée, du moins sur le taux d'humidité relative, durant les événements ENSO.

On a tenté de voir si le comportement observé sur les pluies avait une influence sur l'humidité relative et les températures extrêmes, mais la pauvreté de l'information, sur ces deux paramètres, est particulièrement limitée, et a priori il est difficile d'avoir une conclusion définitive. Il serait nécessaire d'analyser la situation plus en détail pour rejeter ou confirmer l'influence de l'ENSO que l'on a pu observer sur quelques stations.

La situation qui provoque les anomalies durant la période sèche n'est par contre pas très claire du point de vue synoptique, et de futures investigations seront à faire dans cette direction.

REFERENCES

- Francou, B., Ramírez, E., Cáceres, B. & Mendoza, J. (2000) Glacier Evolution in the Tropical Andes during the last decade of the 20 Century: Chacaltaya, Bolivia, and Antizana, Ecuador. *AMBIO* 29(7), 416–422.
- Henderson, K. A., Thompson, L. G. & Lim, P. N. (1999) Recording of El Niño in ice core $\delta^{18}\text{O}$ records from Nevado Huascarán, Peru. *J. Geophys Res.* 104(D24), 31.053–31.065.
- Peixoto, J. & Oort, A. (1992) *Physics of Climate*. American Institute of Physics, New York, USA.
- Trenberth, K. (1997) The definition of El Niño. *Bull. Am. Met. Soc.* 78(12), 2771–2777.
- Vuille, M., Bradley, R. & Keimig, F. (2000) Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to tropical Pacific and Atlantic sea surface temperature anomalies. *J. Climate* 13, 2520–2535.